

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL

FABIANO MAYRINK DUTRA SOUZA

**EFEITOS DO REGIME HÍDRICO E DA ADUBAÇÃO FOLIAR COM
SILÍCIO EM PLANTAS DE FISÁLIS (*Physalis peruviana* L.)**

VITÓRIA
2015

FABIANO MAYRINK DUTRA SOUZA

**EFEITOS DO REGIME HÍDRICO E DA ADUBAÇÃO FOLIAR COM
SILÍCIO EM PLANTAS DE FISÁLIS (*Physalis peruviana* L.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de MESTRE em BIOLOGIA VEGETAL, na área de concentração em Fisiologia Vegetal.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Viviana Borges Corte.

Co-orientador: Prof.^a Dr.^a Maria do Carmo Pimentel Batitucci.

VITÓRIA
2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

- S729e Souza, Fabiano Mayrink Dutra, 1989-
Efeitos do regime hídrico e da adubação foliar com silício
em plantas de fisális (*Physalis peruviana*) / Fabiano Mayrink
Dutra Souza. – 2015.
71 f. : il.
- Orientador: Viviana Borges Corte.
Coorientador: Maria do Carmo Pimentel Batitucci.
Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e
Naturais.
1. Plantas - Desenvolvimento. 2. Silício. 3. Adubação foliar.
4. Déficit hídrico. I. Corte, Viviana Borges. II. Batitucci, Maria do
Carmo Pimentel. III. Universidade Federal do Espírito Santo.
Centro de Ciências Humanas e Naturais. IV. Título.

CDU: 57

FABIANO MAYRINK DUTRA SOUZA

**EFEITOS DO REGIME HÍDRICO E DA ADUBAÇÃO FOLIAR COM SILÍCIO EM
PLANTAS DE FISÁLIS (*Physalis peruviana* L.)**

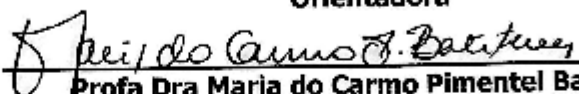
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Biologia Vegetal na área de concentração Fisiologia Vegetal.

Aprovada em 27 de Fevereiro de 2015.

COMISSÃO EXAMINADORA



Profª Drª Viviana Borges Corte
Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal-UFES
Orientadora



Profª Dra Maria do Carmo Pimentel Batitucci
Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal-UFES
Co-orientadora



Profº Drº Marco Antonio Galeas Aguilar
Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal - UFES
Examinador Interno



Profª Dra Tarsila Daysy Ursula H. Gomes
Universidade Federal do Espírito Santo- UFES
Examinador Externo



Aos fruticultores de fisális, que este trabalho possa ser útil ao manejo da cultura, se assim for, valeu “a pena”.

Às pessoas que se encantam com as belezas dos mínimos detalhes da vida.



AGRADECIMENTOS

- Ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal (PPGBV) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), pela infraestrutura.
- Em especial à Fundação de Amparo a Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pela bolsa de pesquisa, sem a qual, não teria concretizado esta especialização *stricto sensu*.
- Ao Laboratório de Fisiologia Vegetal e ao Laboratório de Sementes e Ecofisiologia Florestal do departamento de Botânica da UFES, pelos equipamentos.
- Às Professoras.: Dra. Viviana Borges Corte – UFES, e Dra. Maria do Carmo Pimentel Batitucci - UFES, pela orientação, auxílio para a concretização deste estudo, e correções do texto.
- Aos Professores, Dr. Marco Antonio Galeas Aguilar – Comissão Executiva do Plano de Lavoura Cacaueira (CEPLAC), e a Bióloga, Me. em Biologia Vegetal e Dra. em Toxicologia. Tarsila Daysy Ursula Hermogenes Gomes, por terem aceitado o convite para a banca.
- Aos meus amigos de curso, alunos do PPGBV UFES, Leonardo Valandro Zanetti, Luana Morati Campos e Monique Barcelos, pela ajuda prática e teórica em alguns momentos.
- Ao engenheiro civil, meu conterrâneo, amigo e ex-aluno da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Vanderci Arruda, pela ajuda em alguns cálculos.
- Ao meu amigo texano, bacharel em *film and journalism* (cinema e jornalismo) Shawn T. Heaton, pela correção gramatical do *abstract*, e a Me. Roseliane Saléme - Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC), pela correção gramatical da dissertação.
- À Professora.: Dra. Isabela Crespo Caldeira – Centro Universitário do Leste de Minas Gerais (UnilesteMG), e ao pesquisador e Dr. Denilson Fernandes Peralta – Instituto de Botânica de São Paulo, pela amizade e apoio para a minha formação botânica.

Obrigado.



A flor é a mais bela e pura aparição da atração sexual, pois encanta, conquista e manipula seres a lhe fazerem o que não consegue por si própria. E ao final, de forma sublime, retribui a todos em grande maestria.

Fabiano Mayrink

<http://fabianomayrink.blogspot.com>

RESUMO

EFEITOS DO REGIME HÍDRICO E DA ADUBAÇÃO FOLIAR COM SILÍCIO EM PLANTAS DE FISÁLIS (*Physalis peruviana* L.)

As mudanças do clima estão no auge. Para manter a produtividade das culturas em condições de seca, a adubação com silício tem se mostrado promissora. É limpa, sustentável e apresenta baixo custo. Vários estudos demonstram o efeito positivo do silício em plantas submetidas à restrição hídrica. *Physalis peruviana* L. (Solanaceae) é uma espécie frutífera de grande valor nutricional e econômico. Devido ao desconhecimento do comportamento ecofisiológico dessa espécie frente a diferentes condições edafoclimáticas, o presente estudo objetiva descrever as respostas ecofisiológicas do crescimento de plantas de *P. peruviana* submetidas à variação das doses de adubação com silício (SiO_2) e dois regime hídrico. Para tanto, foi desenvolvido um experimento instalado ao delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial duplo 2x4 com valor de n igual a cinco. As mudas de *P. peruviana* foram submetidas a 30 dias de regime hídrico controlado, 100% CC e 35% CC e adubadas via foliar através de solução aquosa de SiO_2 (4 aplicações) nas doses de 0,0; 1,0; 2,0 e 3,0 g/L. Para avaliar os efeitos dos tratamentos nas plantas foram realizadas análises de crescimento, a saber: área foliar, comprimento do caule, diâmetro do caule, massa seca, crescimento absoluto, crescimento relativo, taxa assimilatória líquida, razão de área foliar, área foliar específica e razão de peso de folha. Além das análises e taxas de crescimento, foi determinado o teor relativo de água nas folhas e mensurado o teor de pigmentos fotossintéticos. O silício aumentou o teor de água foliar em ambos os regimes hídricos. O teor de clorofila *a* apresentou aumento pelo incremento da dose de SiO_2 apresentando ponto máximo em 100% CC, e não obtiveram resposta em 35% CC. A clorofila *b*, clorofila *total* e carotenoides apresentaram resultado igual a clorofila *a*, diferindo no ponto máximo. O crescimento, o acúmulo de massa seca e as taxas de crescimento foram prejudicadas pelo tratamento hídrico em déficit de 35% CC. No entanto, o comprimento de caule obteve aumento em condição associada entre irrigação plena e adubação com silício. Não foi formada regressão para massa seca de folhas, raiz e massa seca total em ambos os regimes hídricos, mas foi formada regressão para massa seca do caule no regime hídrico a 100% CC, demonstrando que em regime hídrico adequado o silício foi eficaz em promover ganhos de massa seca neste parâmetro. O SiO_2 aumentou a taxa de crescimento absoluto e a taxa de crescimento relativo, comprovando que a produtividade líquida da cultura foi beneficiada com a adubação silicatada mesmo em déficit hídrico. Plantas de ambos os regimes hídricos adubadas com silício apresentaram maior razão de área foliar para que ocorra a fotossíntese, e maior área foliar específica. A adubação com silício associado ao regime hídrico adequado promoveu maior exportação de fotossintetizados da folha para o restante da planta. A área foliar específica apresentou para ambos os regimes hídricos maiores valores com a aplicação de SiO_2 . A taxa assimilatória líquida formou regressão somente em 100% CC. De modo geral, a adubação foliar com silício foi benéfica, conferindo maior teor de água nas folhas, maior conteúdo foliar de carotenoides, maiores taxas de crescimento e de assimilação líquida, maior crescimento e maior acúmulo de massa seca nas diferentes partes das plantas.

Palavras-Chave: Plantas; Desenvolvimento; Silício; Adubação foliar; Déficit hídrico.

ABSTRACT

EFFECTS OF WATER REGIME AND LEAF FERTILIZATION WITH SILICON IN CAPE GOOSEBERRY PLANTS (*Physalis peruviana* L.)

The climate changes are in focus, and they can change the rainfall patterns. To maintain crop yields in drought conditions, silicon fertilization has proven to be a great alternative. It is clean, sustainable and has a low cost. Several studies using silicon have shown positive effects in plants subjected to water estresse. *Physalis peruviana* L. (Solanaceae) is a fruit that has a great nutritional and economic value. Due to the unknown physiological behavior of this species across the different soil and climatic conditions, this study aims to describe the physiological responses of *P. peruviana* plants to variation in fertilization of silicon, and two water regimes. Therefore, the experiment was conducted in a 2x4 factorial arrangement in a completely randomized design. The *P. peruviana* plants were subjected to 30 days of controlled water regime, 100% of water holding capacity and 35% of water holding capacity, the plants were fertilized with SiO_2 (4 applications) at doses of 0.0, 1.0; 2.0 and 3.0 g/L. To evaluate the effects of treatments on cape gooseberry, it was used growth analysis, namely: leaf area, stem length, stem diameter, dry matter, absolute growth, net assimilation rate, leaf area ratio, specific leaf area and leaf weight ratio. In addition, it was determined the relative water content in the leaves and measured the content of photosynthetic pigments. Silicon has increased the water content of the leaf in both water regimes. The chlorophyll content has increased by increasing SiO_2 dose in 100% field capacity water regime, but not in 35% CC. The chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids showed results must like chlorophyll a, differing in the maximum point at regression analysis. Growth was decreased by water treatment in 35% field capacity. However, the stem length increases in associated condition between full irrigation and fertilization with silicon. It was not formed regression for dry weight of leaves, root and total dry mass in both water regimes, but was formed regression to dry mass of stem in the water system of 100% of water field capacity, showing that in appropriate water regime silicon was effective in promoting dry mass gains in this parameter. The SiO_2 increased the absolute growth rate and relative growth rate, showing that the net productivity of the crop has benefited from the silicate fertilization under water deficit. Plants of both water regimes fertilized with silicon presented higher leaf area ratio for the occurrence of photosynthesis, and greater specific leaf area. The fertilization with silicon associated with adequate water regime promoted greater exportation of photosynthates from leave to the rest of the plant. The specific leaf area presented in both water regimes larger values by the application of SiO_2 . The assimilation rate formed regression only in 100% of water field capacity. In general, foliar fertilization with silicon is a benefit; because it has increased the water content in the leaves, promote higher leaf content of carotenoids, higher growth and higher accumulation of dry matter in different parts of the plants of cape gooseberry.

Key words: Plants; Growth; Silicon; Leaf fertilization; Water deficit.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE <i>PHYSALIS PERUVIANA</i> L.	14
2.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA ESPÉCIE <i>PHYSALIS PERUVIANA</i> LINNAEUS	16
2.3 CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DE CULTIVO DA <i>PHYSALIS PERUVIANA</i> LINNAEUS	17
2.4 PROPAGAÇÃO, PLANTIO, TRANSPLANTE E FENOLOGIA DA FISÁLIS	18
2.5 DÉFICE HÍDRICO	20
2.6 SILÍCIO	22
2.7 A IMPORTÂNCIA DAS ANÁLISES FISIOLÓGICAS DE CRESCIMENTO	24
3. OBJETIVO	25
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 ÁREA DE ESTUDO	25
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	26
4.3 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CULTIVO	26
4.4 MEDIDAS DE CRESCIMENTO	28
4.4.1 DETERMINAÇÃO DA ÁREA FOLIAR	28
4.4.2 DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DO CAULE.....	28
4.4.3 DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO DO CAULE	28
4.4.4 DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA	29
4.5 PROCESSAMENTOS DAS MEDIDAS DE CRESCIMENTO	29
4.5.1 TAXA DE CRESCIMENTO ABSOLUTO (TCA)	29
4.5.2 TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO (TCR)	29
4.5.3 TAXA ASSIMILATÓRIA LÍQUIDA (TAL)	30
4.5.4 RAZÃO DE ÁREA FOLIAR (RAF)	30
4.5.5 ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA (AFE)	30

4.5.6 Razão de peso de folha (RPF)	31
4.6 ANÁLISE DE PIGMENTOS	31
4.7 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DO SOLO	32
4.8 TEOR RELATIVO DE ÁGUA NAS FOLHAS (TRA)	32
4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA	32
5. RESULTADOS	33
5.1 CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS	34
5.2 CONTEÚDO DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS	36
5.3 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO	39
5.3.1 CRESCIMENTO	39
5.3.2 MASSA SECA	41
5.3.3 TAXAS E RAZÕES DE CRESCIMENTO	44
6. DISCUSSÃO	49
7. CONCLUSÕES	53
8. CONSIDERAÇÃO FINAIS	54
9. REFERÊNCIAS	55
APÊNDICE A - Tabela dos pontos máximos	71

1. INTRODUÇÃO

O levantamento dos impactos, adaptações e vulnerabilidades frente às mudanças climáticas estão no auge, e tais questões são amplamente discutidas no boletim anual do grupo de pesquisas do *Intergovernmental panel of climate change* da Universidade de Cambridge (IPCC 2014). Vários fatores se relacionam com as mudanças climáticas, tais como o aumento do CO₂ atmosférico e consequentemente o aumento da temperatura global (CHERUBINI et al., 2014). Estas alterações afetam ciclos biológicos de animais (WELCH et al., 2014), vegetais (CRAINE et al., 2012; FRANKS et al., 2014) e as interações entre ambos (MARTIN et al., 2012) ou ainda mudanças no clima a nível local ou global (HOWE et al., 2013; IPCC 2014). Um exemplo disso são as alterações nos regimes de chuva (WENTZ et al., 2007) que têm influenciado fortemente os ecossistemas naturais (PORPORATO et al., 2004) e as sociedades humanas, hora pelo excesso e hora pela escassez de água (LEHNER et al., 2006).

A água é um grande fator limitante nas culturas agrícolas (LECOEUR e SINCLAIR 1996; ALEXANDRATOS e BRUINSMA 2012) e, o conhecimento das respostas ecofisiológicas de espécies vegetais de importância econômica frente às mudanças do clima é de grande valia para a agricultura (LOBELL et al., 2011), pois, as mudanças climáticas afetam diretamente a economia local e global (DARWIN et al., 1995; MENDELSON et al., 2004).

Durante a seca, as plantas podem sofrer diversos ajustes de ordem fisiológica como estratégia para minimizar a perda de água. No entanto, a tolerância das plantas aos fatores ambientais estressantes, tal como o déficit hídrico, varia de acordo com a espécie, o cultivar, o estado de desenvolvimento, a duração e a intensidade do estresse (LEVITT 1980).

Para manter a produtividade das culturas em condições de seca, a adubação com silício tem se mostrado promissora. É limpa, sustentável e apresenta baixo custo (CRUSCIOL et al., 2009). Vários estudos têm demonstrado efeito positivo do silício em plantas submetidas a restrição hídrica (AHMED et al., 2014; AMIN et al., 2014; LIU et al., 2014; SHI et al., 2014; TRIPATHI et al., 2014), devido a deposição desse elemento na parede celular, principalmente a parede externa (AGARIE et al., 1998; EPSTEIN 1999), o que aumenta a resistência e a rigidez da mesma, refletindo numa melhor arquitetura foliar e, consequentemente, melhor interceptação de luz (TAKAHASHI 1995), na elevação do conteúdo de água e no aumento da fotossíntese (SHEN et al., 2010), além de reduzir a transpiração cuticular e estomática (MA e YAMAJI 2006).

Physalis peruviana L. (Solanaceae) é uma espécie frutífera de grande valor nutricional e econômico. Ela foi incorporada no quadro de pequenas frutas no Brasil (FISCHER 2000; ANDRADE 2008) e, há pouco conquistou o mercado do Espírito Santo (CEASA-ES, 2011). O fruto é apreciado como ingrediente para a gastronomia tradicional e molecular (PELLERANO 2013), além de possuir propriedades farmacêuticas e nutricionais (LAN et al., 2009; RAMADAN 2011; PINTO-MUÑOZ et al., 2011). A inserção do cultivo de pequenas frutas como atividade econômica ainda é bastante incipiente e inovadora, caracterizando-se de modo geral, pelo baixo custo de produção, bom retorno econômico, boa adaptação ao ambiente local e possibilidade de cultivo no sistema orgânico (POLTRONIERI 2003). No Brasil, o cultivo comercial de *P. peruviana* está parcialmente restrito às regiões subtropicais do sul do país (SCHNEIDER et al., 2007; LIMA et al., 2009; LIMA et al., 2010).

Devido ao desconhecimento do comportamento fisiológico dessa espécie frente a diferentes condições edafoclimáticas, o presente estudo objetiva avaliar as respostas fisiológicas e morfológicas de plantas de *P. peruviana* submetidas a diferentes doses de adubação foliar com silício (SiO_2) e diferentes regimes hídricos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Características botânicas e distribuição geográfica de *Physalis peruviana* L.

A descrição do gênero *Physalis* (Solanaceae), foi feita pela primeira vez por Linnaeus em 1753. É um gênero botânico de fácil identificação. Quando em frutificação, as flores de seus espécimes apresentam sépalas que assumem a forma de um cálice frutífero acrescente e inflado, que envolve o fruto em forma de baga (VIDAL e VIDAL 2003), o que lembra uma lanterna japonesa. O gênero *Physalis* L. é composto por 75-90 espécies (SOARES et al., 2009; WHITSON e MANOS, 2005), e conforme Martínez (1999) possui quatro subgêneros: *Physalis* L. (Eurásia), *Physalodendron* (G.Don) M. Martínez (México e Guatemala), *Quincula* (Raf.) M. Martínez (desertos do sudeste dos Estados Unidos e norte do México) e *Rydbergis* (Hendrych) (América), sendo este último formado por nove seções.

O centro de origem do gênero *Physalis* L. é situado nas Américas, porém possui um representante no leste asiático (OLMSTEAD et al., 2008; OLMSTEAD 2013). Apesar de o gênero ser nativo das Américas (KNAPP 2009; D'ARCY 1991), as espécies podem ser encontradas vegetando em várias partes do mundo, principalmente por representantes introduzidos para uso na agricultura (PINTO-MUÑOZ et al., 2011; MAZORRA 2006).

A distribuição geográfica do gênero no Brasil, atualmente, compreende todos os estados com exceção do Amapá e de Sergipe (STEHMANN et al., 2013). Possui representantes no domínio fitogeográfico Amazônico, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal, podendo ser encontrada inclusive em áreas com vegetação antrópica. O Brasil conta com riqueza de oito espécies, das quais *Physalis angulata* L; *P. cordata* Mill; *P. minuta* Griggs; *P. peruviana* L, *P. pruinosa* L. são naturalizadas e *P. pubescens* L; *P. subtriflora* Ruiz e Pav; e *P. viscosa* L. são nativas (HUNZIKER et al., 2001; SOARES et al., 2011; STEHMANN et al., 2013).

A *P. peruviana* L. (Figura 1) possui porte arbustivo, com segmentos caulinares lenhosos (D'ARCY e AVERETT, 1996), e podem crescer por volta de 60 a 90 cm. Em alguns casos chegando a 1,80 m (TAPIA e FRIES, 2007). Segundo Brücher (1977) é uma planta perene, sendo relatadas na Colômbia plantas com mais de vinte anos em cultivo (FISCHER 2000). Porém, em plantações comerciais a espécie é tratada como anual (FISCHER e LÜDDERS 2002).

P. peruviana é naturalizada no Brasil (HUNZIKER et al., 2001; STEHMANN et al., 2013), porém, é nativa da região dos Andes, onde sua história é transcendente ao período das civilizações pré-Incaicas ao longo da América do Sul (PINTO-MUÑOZ et al., 2011). O centro de origem de *P. peruviana* segundo Legge (1974) é nos Andes Peruanos, onde cresce de forma espontânea e cultivada, em domínios climatológicos variados (tropical; subtropical, e temperado) (TAPIA e FRIES 2007).

A fisális apresenta sistema radicular bastante ramificado (10 a 15 cm de comprimento) e, suas raízes principais possuem entre 50 e 80 cm (FISCHER e ALMANZA 1993; ANGULO 2005). Suas flores são amarelas, com cinco máculas vinosas na base das pétalas (Figura 1c) e o cálice (Figura 1b) tem formato circular em secção transversal, outras características taxonômicas para a espécie podem ser encontradas em Soares et al. (2009). As flores são facilmente polinizadas por insetos, vento, ou ainda podem se autopolinizar (TAPIA e FRIES 2007).

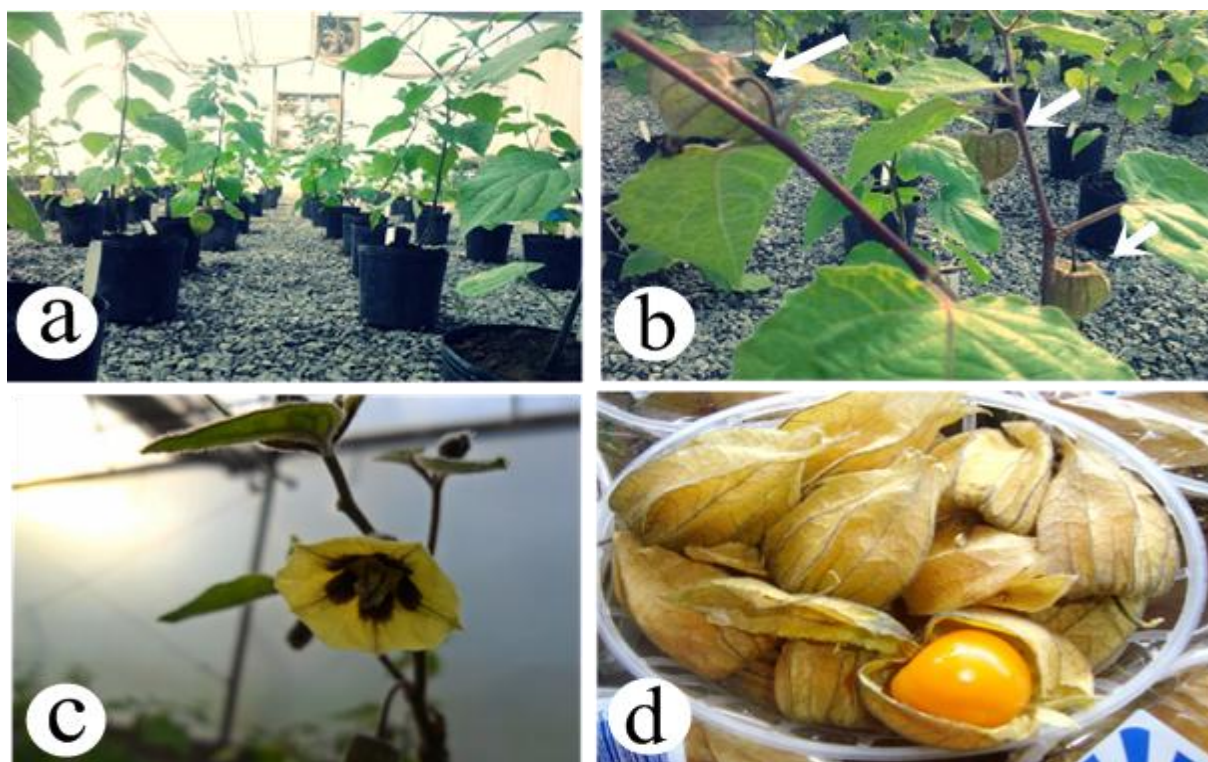


Figura 1. *Physalis peruviana*. 1a *P. peruviana* ao 87º dia após a semeadura. 1b cálice de frutos de *P. peruviana* (seta). 1c flor de *P. peruviana*. 1d fruto de *P. peruviana*. Crédito: 1a-c Fabiano Mayrink; 1d Acessoria de comunicação da CEASA.

O fruto da espécie é do tipo baga carnosa, com formato oval (Figura 1d), e possui diâmetro entre 1,25 e 2,50 cm e peso entre 4 e 10 g (CHAVES, 2006). O cálice frutífero tem por função proteger o fruto de insetos, doenças e, fatores climáticos adversos. Além de

proteger, o cálice da fisális fornece ao fruto açúcares nos primeiros 20 dias de crescimento, isso por realizar fotossíntese neste período (TAPIA e FRIES 2007).

Os frutos da *P. peruviana* apresentam um elevado nível nutritivo, sendo uma boa fonte de vitamina A e vitamina C (HERMANN 1994), além de vitaminas do complexo B, principalmente tiamina, niacina e vitamina B12. Os níveis de proteína e de fósforo são altos (LIGARRETO et al., 2005).

2.2 Importância econômica da espécie *Physalis peruviana* Linnaeus

Physalis peruviana L. é uma espécie frutífera de grande valor nutricional e econômico e o cultivo comercial se estende por toda a região andina sul-americana, além de outros países (NOVOA et al., 2006).

A Colômbia produz cerca de 6.000 toneladas do fruto por ano e, possui uma importante parcela da exportação mundial (GARTNER 2012). Apesar de a Colômbia agregar grande importância na exportação da fisális, apenas 50% dos frutos produzidos no país é exportado. A dificuldade para se exportar o fruto é em relação ao tamanho pequeno e frágil, porém, os frutos não exportados são encaminhados para a produção de conservas e desidratados (CASTRO et al., 2008), o que aumenta o valor comercial e o tempo de comercialização.

Apesar de apenas 50% das fisális serem exportadas, em 2005, segundo o Ministério de Agricultura y Desarrollo Rural Colombia (2006), a exportação da fisális gerou para o país US\$ 23.8 milhões, sendo exportada principalmente aos Estados Unidos e a países da União Europeia. Outro importante produtor de *P. peruviana* é a África do Sul. O cultivo ainda é reportado nos Estados Unidos e na Nova Zelândia (MAZORRA 2006).

No Brasil, o cultivo de *P. peruviana* é relativamente recente, tendo início em 1999 na Estação Experimental de Santa Luzia no estado de São Paulo (CHAVES 2006). Em pouco tempo, a espécie foi aceita e incorporada ao quadro comercial de pequenas frutas (FISCHER 2000; ANDRADE 2008). No entanto, o cultivo e a comercialização da fisális ainda estão parcialmente restritos à região sul do país, e aos poucos vêm ganhando mercado nas demais regiões.

O fruto da fisális é bastante apreciado, pois apresenta sabor único e exótico, conquistando o paladar e a subjetividade de consumidores exigentes, o que resultou em boa aceitação no mercado nacional, aumentando o interesse econômico dos produtores brasileiros

pelo cultivo da espécie (LIMA et al., 2009). No Brasil a fisális acompanha a demanda gastronômica mundial e vem sendo utilizada como ingrediente para a gastronomia tradicional e molecular (PELLERANO 2013).

O CEASA do estado do Espírito Santo divulgou que o valor do fruto da fisális comercializado em maio de 2014 foi de US\$ 19,53 o quilo (CEASA-ES 2015). Segundo Lima (2009c) o valor do fruto *in natura* repassado ao consumidor final em supermercados pode chegar até a R\$ 90,00 o quilo.

Devido ao alto valor comercial do fruto e a boa aceitação no mercado nacional e internacional a espécie vem sendo alvo de interesse de estudos científicos agrícolas para melhoria das técnicas de cultivo e de produção (MUNIZ et al., 2014).

2.3 Condições edafoclimáticas de cultivo da *Physalis peruviana* Linnaeus

Fatores como altitude, clima e solos podem determinar a viabilidade do plantio de uma determinada espécie (PETRI 2006). Levando-se em consideração estes fatores, para introduzir uma espécie em determinada área, é necessário fazer a avaliação das condições de clima e de solo da região, isso, com o objetivo de auxiliar na seleção das espécies que melhor se adaptem ao clima local (RUFATO et al., 2008).

Tradicionalmente a *P. peruviana* é caracterizada como uma espécie de clima frio a moderado (RUFATO et al., 2008), tendo seu crescimento prejudicado a partir de temperaturas menores que 10°C (TAPIA e FRIES, 2007). No Peru, a espécie é cultivada em áreas agrícolas com médias de temperatura distintas, tais como Quechua com médias entre 7°C a 11°C e Yunga, que apresenta médias anuais de temperatura entre 18°C a 21°C (TAPIA e FRIES, 2007). Segundo Angulo (2003), temperaturas muito elevadas (maiores que 30°C) prejudicam o florescimento e a frutificação. Segundo Obrecht (1993) as temperaturas ótimas de cultivo da espécie estão entre 21 a 25°C com diferenças térmicas noite/dia de 6 a 7°C.

A fisális tolera geadas leves, mas apresenta sérios problemas quando as temperaturas noturnas caem abaixo de -2°C (RUFATO et al., 2008). Portanto, é evidente que os fatores climáticos são influenciadores do crescimento, da qualidade do fruto, e da produtividade na espécie (Muniz et al., 2010). A *P. peruviana* é conhecida por se desenvolver em altitudes elevadas (FISHER e ANGULO 1999; MAZORRA et al., 2006). Segundo Fischer (2002), em seu trabalho sobre influência da altitude no crescimento vegetativo de *P. peruviana* na Colômbia. Em regiões com altitudes de 2.300 m (Villa de Leyva) e, 2.690 m (Tunja),

constatou que a altitude de 2.300 m nas 32 primeiras semanas do cultivo favoreceu o aumento das hastes e consequentemente um maior índice de área foliar nas plantas de fisális.

O solo ideal para a cultura é o solo areno-argiloso bem drenado com textura granulada e de preferência com alta dose de matéria orgânica (maior que 4%) e, que apresente pH entre 5,5 e 6,8 (FISCHER et al., 2005). Miranda (2004) reforça que o solo para a cultura da fisális deve apresentar boa aeração e drenagem e, ainda acrescenta que o ideal é possuir profundidade de 40 a 60 cm. Estudos realizados no Peru reforçam que a fisális prospera melhor em solos ligeiramente ácidos, e esta característica química do solo faz com que seja produzido maior número de frutos por planta e estes apresentem maior diâmetro, além de maior conteúdo de pectina (FRANCO, 2000). Apesar das especificidades de solo citadas anteriormente, a fisális se desenvolve em vários tipos de solo e clima, sendo classificada como uma espécie tolerante, isso pela alta adaptabilidade e plasticidade (FISCHER, 2000).

A precipitação ideal deve oscilar entre 1000 a 1800 mm distribuídos durante o ano, com umidade relativa média de 70 a 75% (MIRANDA 2004). A exigência hídrica ao cultivo de *P. peruviana* é de ao menos 800 mm dia durante a fase inicial de crescimento. A espécie é susceptível a seca, mas o excesso de umidade é prejudicial, pois favorece o aparecimento de doenças, o que causa o amarelecimento das plantas e a queda das folhas (RUFATO et al., 2008). Por ser uma espécie silvestre que esta a ser cultivada e domesticada, não se conhece os aspectos específicos da adubação para o cultivo da *P. peruviana*, contudo, vários autores citam que o cultivo, a adubação e o trato da lavoura, podem ser fundamentados nas especificações nutricionais para a cultura do tomateiro (*Lycopersicum esculentum* Mill) (RUFATO et al., 2008; KUHN et al., 2012; LIMA et al., 2012).

2.4 Propagação, plantio, transplante e fenologia da fisális

A *P. peruviana* é uma espécie de fácil propagação por sementes, sendo a propagação sexuada a melhor alternativa. As sementes para o plantio devem ser extraídas de frutos maduros, vigorosos e sadios, garantindo a seleção das melhores características genéticas. O momento correto para extração das sementes dos frutos da fisális é a partir da coloração do cálice amarelo-esverdeado (GORDILLO, 2003).

Os frutos devem ser triturados em processador de baixa velocidade ou esmagados para a extração das sementes. A polpa com as sementes devem ser colocadas em recipiente limpo e deixadas fermentar por 48 horas, seguido de lavagem em água corrente, separação

das sementes, secagem à sombra em papel toalha, e armazenamento em frascos de vidro em temperatura ambiente (FISCHER 1995; MIRANDA 2004).

A semeadura deve ser feita somente após duas semanas de armazenamento em temperatura ambiente. Para armazenagem por períodos maiores do que oito dias, as sementes devem ficar refrigeradas em geladeira por volta de 10°C em recipientes herméticos e sem umidade (RUFATO et al., 2008). As sementes de *fisális* possuem um alto percentual de germinação, em torno de 85 a 90% e germinam em 10 a 15 dias (FISCHER et al., 2005).

Chaves et al. (2005) avaliaram o estabelecimento e multiplicação *in vitro* de *P. peruviana* e constataram que a espécie tem comportamento fotoblástico positivo no cultivo *in vitro* e, das soluções aplicadas para desinfecção das sementes, álcool + hipoclorito de sódio foi a solução que resultou maior porcentagem de germinação. Peron et al. (2011) avaliaram a germinação de sementes de *fisális* em B.O.D em diferentes temperaturas e números de sementes por placa de germinação, e evidenciaram que os melhores resultados foram em placas com 20 sementes cada, à temperatura de 25°C nas condições de B.O.D, com fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro. Kuhn et al. (2012) constataram que as sementes oriundas de frutos maduros em comparação a frutos verdes obtiveram as maiores porcentagens de germinação e, recomendam que para a propagação sexuada de *P. peruviana*, as sementes sejam oriundas de frutos maduros.

Filho et al. (2007) [*sic*]¹ concluíram que a utilização de substrato comercial ou de casca de arroz carbonizada não interferiram significativamente na porcentagem de germinação, mesmo com a adição de ácido giberélico, concluindo que apenas a embebição das sementes com água é o fator que aumenta a porcentagem de germinação. Isso confirma os resultados obtidos por Kuhn et al. (2012) e Piva et al. (2013) de que o substrato ideal para o desenvolvimento inicial de mudas de *fisális* é aquele que possui características capazes de armazenar água e ter porosidade suficiente para entrada de ar, tal como a combinação de solo + humus + vermiculita (2:1:1) justamente pela capacidade de reter água.

Na produção de mudas de alta qualidade é necessário considerar parâmetros como o tamanho do recipiente e o tipo de substrato a ser utilizado, bem como o fornecimento de nutrientes (CARNEIRO 1983) e a boa capacidade de retenção de água (KUHN et al., 2012; PIVA et al., 2013). Caso contrário, o desenvolvimento inicial de mudas é prejudicado e uma

¹ Na citação, Filho *et al* (2007). Sabe-se que é incorreto citar e, ou referenciar autor como Filho, uma vez que não é sobrenome. No entanto, no artigo de sua autoria, não consta o nome completo, sendo assim, não há como citá-lo da forma correta.

muda mal formada debilita e compromete todo o desenvolvimento da cultura, aumentando seu ciclo e levando a perdas na produção (SOUZA e FERREIRA, 1997).

A época da sementeira e transplante de mudas para o cultivo em escala comercial deve seguir o período favorável, levando em consideração fatores climáticos como precipitação, temperatura e nível de luminosidade. Seguindo estes critérios o produtor terá menor risco ao investir em sua cultura (AMORIM et al., 2001). Com relação ao estágio de desenvolvimento das mudas de *fisális* para o transplante ao campo, o momento ideal é quando o diâmetro do caule for acima de 0,50 cm (MARTÍNEZ, 2005) ou quando as mudas estiverem com mais de 20 cm de altura (ÂNGULO, 2005).

O transplante deve ocorrer de preferência em dias chuvosos ou com céu nublado, para minimizar o estresse e desidratação. Após o transplante é de grande importância não faltar irrigação, sendo a irrigação por gotejamento a mais aconselhada (MUNIZ 2011). No momento do plantio devem-se adicionar adubos orgânicos completamente decompostos e, adubos químicos e corretivos conforme a análise do solo (FISCHER, 1995; MIRANDA, 2004).

De acordo com Lima (2009), as plantas de *fisális* na região de Pelotas-RS necessitam de 54 dae (dias após a emergência) para o transplante, 77 dae para iniciar as ramificações laterais, 85 dae para iniciar a brotação floral, 106 dae para as flores estarem inchadas, 108 dae para as flores estarem abertas, 111 dae para início da formação de brotos basais, 131 dae para as flores estarem caídas, para as folhas ficarem senescentes e para iniciar a colheita.

2.5 Défice hídrico

A água é o principal fator influenciador no crescimento dos vegetais e responsável por oscilações na produção, que é a quantidade total produzida por uma cultura, influencia ainda na produtividade, que é a quantidade produzida por uma cultura em determinada área. Considerando a atual preocupação mundial com a escassez dos recursos hídricos e o alto custo em determinadas situações agrícolas, a busca pelo aumento da eficiência no uso da água nas culturas tem sido motivo de inúmeras pesquisas (ROZA, 2010).

A deficiência hídrica ocorre quando a taxa de transpiração excede a de absorção de água e se instala por diferentes formas. Presença de sais no solo, que desestabilizam o potencial de absorção de água pelas raízes, causando a seca fisiológica. Por temperaturas abaixo de zero, que causam o congelamento da água disponível, ou mesmo pela falta de água

nos solos, provocada pela baixa precipitação ou pela irrigação deficiente em sistemas agrícolas (BRAY 1997).

O déficit hídrico tem efeito em diversos processos fisiológicos dos vegetais, geralmente aumenta a resistência estomática, reduz a transpiração e consequentemente o suprimento de CO₂ para a realização de fotossíntese (NOGUEIRA et al., 2001), além de estimular a síntese de ácido abscísico, o que leva ao fechamento estomático e a abscisão foliar como estratégia para reduzir a transpiração (TAIZ e ZEIGER 2004).

Segundo Larcher (2006), as plantas ao encararem um fator eestresseante atravessam uma sucessão de respostas ou fases a tais condições; estas fases podem ser subdivididas em três períodos: fase de alarme, onde primariamente ocorre a perda da estabilidade das estruturas biológicas importantes a processos vitais, tais como os processos bioquímicos ligados à fotossíntese. Fase de resistência, quando as plantas já passaram pela fase de alarme e seguem seu ciclo pela fase de resistência, levando as plantas submetidas ao estresse por um período maior de tempo a uma rusticidade, na qual dependendo da duração podem apresentar adaptações pelo ajuste osmótico. Fase de exaustão, que ocorre quando as plantas continuam em déficit hídrico além da fase de resistência, e a cada dia com menor fornecimento hídrico, o que deixa a planta suscetível às pragas ou doenças, isso por diminuir as defesas do vegetal.

O estresse hídrico causado pela seca altera profundamente o desenvolvimento dos vegetais (JONES e CORLETT, 1992), isso por afetar a bioquímica e a fisiologia das mesmas (ZOBAYED et al., 2007). A sobrevivência das plantas sob seca depende em grande extensão da habilidade em detectar o estímulo e gerar sinais que desencadearão rotas metabólicas capazes de alterar o metabolismo para resistir ao estresse, e a longo prazo criar estratégias fisiológicas e estruturais para resistir ou amenizar o estresse (BOHNERT e JENSEN, 1996; SHINOZAKI e YAMAGUCHI, 1997). Muitas adaptações para aumentar a tolerância à seca podem ser observadas nos diferentes órgãos dos vegetais superiores (ZANET, 2013). Em uma grande variedade de espécies vegetais as espessuras dos tecidos foliares e o tamanho e número de estômatos sofrem influência da deficiência hídrica, assim como ocorre supressão do brotamento, redução da área foliar e do tamanho e número de estômatos, desenvolvimento de parênquima paliádico e cutículas mais espessas sob déficit hídrico (KARABA et al., 2007; LUKOVIĆ et al., 2009).

2.6 Silício

Silício é o segundo elemento químico mais abundante na crosta terrestre (ILER, 1979). Apesar de abundante, o silício é sempre encontrado associado a outros minerais, como exemplo o quartzo, com isso a maior parte não está biodisponível para os vegetais (LIMA FILHO et al., 1999). Sua biodisponibilidade nos solos se faz através dos eventos de intempérie, mediados pelo vento, chuva, temperatura e pH (SAVANT et al., 1997). A fórmula química do silício biodisponível aos vegetais é o ácido monossilícico (H_4SiO_4), e quanto maior o pH da solução do solo, ou seja, quanto mais alcalino, maior é a biodisponibilidade do Silício aos vegetais, e consequentemente maior a absorção (OLIVEIRA et al., 2007).

O ácido monossilícico (H_4SiO_4 ou $\text{Si}(\text{OH})_4$) como também chamado ácido ortossilícico ou simplesmente ácido silícico, ocorre de forma solúvel nos solos, estando desta forma prontamente disponível para as plantas, o que leva também a possíveis perdas por lixiviação. O ácido monossilícico pode ser encontrado em águas fluviais e marinhas, pois sua solubilidade é de 2mM em pH próximo ao neutro, acima desta dose ocorre condensação produzindo ácido silícico oligomérico e consequentemente partículas coloidais de sílica hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$). A dissolução e deposição de sílica em água podem ser representadas como: $(\text{SiO}_2)_x + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{SiO}_2)_{x-1} + \text{Si}(\text{OH})_4$, sendo que a reação para a direita ocorre em condições de hidratação e, para a esquerda em condições de desidratação (BIRCHALL, 1995).

A deposição de silício nos vegetais pode acontecer em folhas, frutos, raízes, sementes, madeira, no espaço intracelular, assim como na parede celular vegetal (SILVA e LABOURIAU, 1966; RUNGE, 1999). O silício é benéfico para as plantas, mas não é prioritariamente necessário ao ciclo de vida, contudo, estudos evidenciam que o silício melhora alguns aspectos morfológicos e estruturais em vegetais ao longo do ciclo de vida (MARSCHNER, 1995).

Os benefícios do silício aos vegetais podem ser retratados principalmente por sua deposição na parede celular, o que favorece o aumento na espessura das paredes das células, principalmente as epidérmicas, por provocar uma silificação nas mesmas, o que induz resistência pela formação de uma barreira mecânica, consequentemente, conferindo resistência ao acamamento ou tombamento do vegetal (MALAVOLTA, 2006; EPSTEIN e BLOOM, 2005). O silício também é benéfico na resistência de planta a pragas e doenças (GOUSSAIN et al., 2002; FAWE et al., 2001), assim como favorece a resistência a fatores abióticos adversos, tal como geada e déficit hídrico, isso por aumentar a resistência mecânica

e reduzir a transpiração cuticular e estomática respectivamente (MA e YAMAJI, 2006). Estudos ainda indicam que o silício é capaz de ativar genes envolvidos na produção de metabólitos secundários, como polifenóis e enzimas relacionadas aos mecanismos de defesa vegetal (GRATÃO et al., 2005).

A absorção do silício pelos vegetais como evidenciado por Ma e Takahashi (2002) pode se processar de forma ativa através de proteínas de membrana resultantes da tradução de mRNA transcritos de genes específicos, e sua absorção ocorre em todo o ciclo do vegetal, pois se processa através de transporte ativo no caso do transporte através de proteínas transmembrana. As plantas podem ser divididas de acordo com sua capacidade de absorção e acúmulo de silício nos órgãos, e esta quantificação é altamente variável entre as espécies, em três grupos: plantas acumuladoras, intermediárias e não acumuladoras. As poaceas são consideradas acumuladoras de silício, por absorverem silício da solução do solo de forma passiva, pois o elemento além de ser transportado ativamente, também pode acompanhar o fluxo de massa de água (MYAKE e TAKAHASHI, 1983). Plantas consideradas não acumuladoras como as eudicotiledôneas, absorvem o silício mais lentamente do que a absorção de água, o que acaba gerando um aumento na dose do elemento no meio extracelular (ADATIA e BESFORD, 1986).

O silício é considerado um micronutriente segundo a Legislação Brasileira de Fertilizantes, Lei nº 6.894 e decreto Nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004 (BRASIL DECRETO 2004). E podem ser encontrados vários estudos que relacionam a aplicação de silício via solo e via foliar com o crescimento, acúmulo de biomassa e resistência ao déficit hídrico. Sobre a resistência ao déficit hídrico, Zanetti (2013) evidenciou que a aplicação foliar de silício nas plantas de cacau (*Theobroma cacao* L.) em déficit hídrico proporcionou melhora aos danos da seca, apresentando melhores taxas de fotossíntese, eficiência do uso de água e de carboxilação. Ainda sobre a perspectiva de resistência a seca, Borges et al. (2010) constataram que o incremento de silício até a dose de 0,150 ml por vaso estimulou o desenvolvimento de jambu (*Spilanthes oleracea* L.) resultando em maior produção de matéria fresca total devido a diminuição da transpiração, o que aumentou a quantidade de água dentro das folhas e das hastes. Menegale (2012) mostrou acréscimo de matéria seca em diferentes espécies de cobertura (feijão guandu, milho, crotalária, aveia preta) adubadas com silício via solo, e tal aumento foi diretamente proporcional à quantidade de silício no solo, independente da condição hídrica que as plantas foram submetidas. Moreira et al. (2010) constataram que a aplicação foliar de silício em soja aumentou a taxa de crescimento da cultura e o acúmulo de fitomassa seca.

Assim, as vantagens técnicas do uso do silício devem continuar a ser exploradas e catalogadas para prover conhecimento ao agricultor sobre o uso de fertilizantes alternativos e que auxiliem na redução do uso de água para irrigação, com isso, auxiliando na manutenção do custo de diferentes culturas.

2.7 A importância das análises fisiológicas de crescimento

As análises de crescimento mostram-se uma técnica plausível para o estudo das bases fisiológicas da produção, e evidenciam a influência dos fatores ambientais, genéticos e agronômicos. Os fatores ambientais tais como luz, temperatura, dose de CO₂, disponibilidade hídrica e de nutrientes afetam sensivelmente inúmeros índices fisiológicos, tais como, razão de área foliar, taxa assimilatória líquida, taxa de crescimento relativo, dentre outros (PEIXOTO, 2006).

A análise de crescimento é um método descritivo das condições morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo e entre amostras sucessivas (MAGALHÃES, 1979). Sendo assim as análises de crescimento um instrumento acessível e de objetivo primordial para uma descrição clara do padrão de crescimento e de produção da planta, ou partes dela, permitindo comparações entre distintas situações ambientais ou experimentais (NOGUEIRA e CONCEIÇÃO, 2000).

De acordo com Benincasa (2003) as análises de crescimento fundamentam que cerca de 90% da matéria seca acumulada pelos vegetais ao longo do desenvolvimento é resultado da atividade fotossintética, sendo o restante acumulado pela absorção de nutrientes minerais. Logo, as interações ambientais ou experimentais são influenciadoras do acúmulo de fitomassa e, este acúmulo é plausível de estudo por medidas tais como altura das plantas, comprimento e diâmetro do caule, área foliar, comprimento de raiz, número de unidades estruturais (folhas, flores, frutos), índices e taxas de crescimento.

É importante determinar as espécies que toleram o déficit hídrico, e as estratégias e técnicas que reduzam as necessidades hídricas das culturas. Para a criação de soluções agrícolas a plantios em regiões áridas e semiáridas, ou regiões que apresentem veranico, onde a disponibilidade de recursos hídricos é escassa ou se tornam reduzidas em certos períodos do ano. Para tanto, a adubação com silício se mostrou eficiente, e seus efeitos sobre as plantas puderam de forma satisfatória ser determinadas pelas análises de crescimento, a qual se tornou forte aliada aos resultados desta dissertação. Reforçando a importância das análises

fisiológicas de crescimento na determinação das respostas das plantas frente a fatores experimentais, principalmente por permitirem uma descrição clara do padrão de crescimento, com a vantagem de ser um dos meios mais acessíveis para este fim.

3. OBJETIVO

Devido ao desconhecimento do comportamento fisiológico dessa espécie frente a diferentes condições edafoclimáticas e de adubação, o presente estudo objetiva avaliar as respostas fisiológicas e morfológicas de plantas de *P. peruviana* submetidas a doses de adubação foliar com silício (SiO_2) e dois regimes hídricos.

3.1 Objetivos específicos

- Verificar o impacto dos dois regimes hídricos sobre as plantas de *P. peruviana*.
- Verificar a interação entre os regimes hídricos e diferentes doses de SiO_2 via fertilização foliar em plantas de *P. peruviana*.
- Avaliar a influência do silício na tolerância ao déficit hídrico em *P. peruviana*.
- Obter a dose de silício que promova melhoria nos aspectos fisiológicos e maior crescimento na cultura de *P. peruviana*.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O trabalho foi conduzido no Programa de Pós Graduação em Biologia Vegetal-PPGBV localizado no Campus Universitário de Goiabeiras da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória ES (20°18'52"S e 40°19'06"W) em casa de vegetação com luminosidade de 1700 lux (ao meio dia).

4.2 Delineamento experimental

O experimento foi instalado no delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4 constituído de dois níveis de água e quatro doses de silício, com valor de n igual a cinco e duas coletas com intervalo de 30 dias entre elas. Os regimes hídricos utilizados foram 100% da capacidade de campo (sem restrição hídrica) e 35% da capacidade de campo (com restrição hídrica). As doses de silício utilizadas foram 0; 1,0; 2,0 e 3,0 g/L de SiO_2 , aplicadas via foliar utilizando Agrisil (98% de SiO_2) como fonte de silício.

4.3 Material vegetal e condições de cultivo

Foram utilizadas mudas de *Physalis peruviana* L. produzidas por semeadura advindas de sementes com boas condições fitossanitárias, obtidas de um produtor rural de pequenas frutas do município de Vacaria no Rio Grande do Sul. As sementes foram armazenadas em geladeira até a data da germinação. A germinação ocorreu em copos plásticos descartáveis como se pode observar na Figura 2a. Ao 24º dia as plântulas foram transplantadas para vasos contendo 5 kg de terra peneirada possuindo as características físicas e químicas expostas na Tabela 1 e 2 respectivamente.

A terra do plantio foi adubada com Osmocot® na proporção de 4 g/L. Após uma semana do transplante foi feito o desbaste e eliminadas as mudas de menor vigor, mantendo-se em cada vaso apenas uma muda, como se pode observa na Figura 1b.



Figura 2. a: Copos com sementes de *P. peruviana* em processo de germinação; **b:** Plantas de *P. peruviana* transplantadas e dentro da casa de vegetação ao 68º dia após a semeadura.

Tabela 1. Características físicas do solo utilizado como substrato do experimento.

Areia grossa	Areia fina	Areia total	Silte	Argila	Classificação textural*
g/Kg					
536	176	712	128	160	Franco arenoso

*Classificação textural de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

O fornecimento de silício via foliar foi realizado utilizando Agrisil[®] (SiO₂ à 98%) em solução aquosa, mediante pulverizações foliares a cada sete dias, totalizando quatro aplicações.

O tratamento com as duas diferentes capacidades de armazenamento de água nos vasos iniciou no 50° dia após a semeadura e durou até o 80° dia, totalizando 30 dias de tratamento hídrico. Para as análises de crescimento, foi utilizada toda a planta, para as demais análises, foi utilizada a 1° folha jovem completamente expandida.

Tabela 2. Características químicas do solo utilizado como substrato no experimento.

Parâmetro analisado	Unidade	Valor	Classificação*
Fósforo	mg/dm ³	19,0	Baixo
Potássio	mg/dm ³	53,0	Baixo
Enxofre	mg/dm ³	10,0	Médio
Cálcio	cmol _c /dm ³	1,3	Baixo
Magnésio	cmol _c /dm ³	0,5	Baixo
H+Al	cmol _c /dm ³	2,9	Médio
pH em água	-	5,3	Acidez média
Matéria orgânica	dag/kg	2,1	Média
Ferro	mg/dm ³	265,0	Alto
Zinco	mg/dm ³	3,3	Muito baixo
Cobre	mg/dm ³	0,8	Baixo
Manganês	mg/dm ³	63,0	Baixo
Boro	mg/dm ³	0,41	Médio
Sódio	mg/dm ³	39,0	Médio
Silício	mg/dm ³	7,0	Baixo
Saturação de bases (V)	%	40,0	Baixo
Saturação de Alumínio	%	13	Baixo

*Classificação para cultura anual, baseada nos manuais de recomendação de adubação do Estado do Espírito Santo (Dadalto e Fullin, 2001; Prezotti et al., 2007).

A manutenção do tratamento hídrico foi realizada de acordo com Pedroso et al. (2014), que utilizaram o método de pesagens para manter os vasos com terra nas porcentagens de armazenamento de água necessárias ao experimento. Em primeiro momento foi

determinada a capacidade de armazenamento de água dos vasos (CAV), subtraindo o peso do vaso com terra seca (TS), pelo peso do vaso com terra na capacidade de campo (CC), chegando na CAV.

No 53º dia após o plantio das sementes, a irrigação dos vasos (substrato e planta) passou a ser controlada. Os vasos foram pesados a cada dois dias e, a água foi fornecida na quantidade adequada para manter cada tratamento na devida porcentagem da CAV (100% CC= 5,920 g "solo + água"; 35% CC= 5,323 g "solo + água").

4.4 Medidas de crescimento

Foram realizadas as seguintes medidas de crescimento: comprimento do caule (CMC); diâmetro do caule (DC); área foliar (AF); massa seca de folhas (MSF); massa seca do caule (MSC); massa seca da parte aérea (MSPA); massa seca da raiz (MSR); massa seca total (MST).

4.4.1 Determinação da área foliar

A determinação da área foliar (cm²) total por planta foi avaliada com o auxílio do Medidor de área foliar Area Meter (LI-COR 3100C, Nebraska, USA).

4.4.2 Determinação do comprimento do caule

Para determinação do comprimento em centímetros (cm), foi utilizada régua milimetrada, sendo a medição feita da base do caule até o ápice do mesmo.

4.4.3 Determinação do diâmetro do caule

Para a determinação do diâmetro do caule em milímetros (mm) foi utilizado paquímetro digital, realizando-se duas medições num ângulo de 90º na base do caule. Os valores das duas medições foram somados e divididos por dois, a fim de atenuar possíveis erros devido às variações morfológicas do caule.

4.4.4 Determinação da massa seca

Para obtenção da massa seca, as plantas foram coletadas e suas partes separadas em caule, folhas e raízes (BENINCASA, 1988). As partes vegetais foram colocadas em sacos de papel e levadas à estufa a 65 °C até atingir massa constante para posterior pesagem.

4.5 Processamentos das medidas de crescimento

A partir das medidas de crescimento básicas anteriores foram calculados: razão área foliar (RAF) (BRIGGS et al., 1920); taxa de crescimento absoluto (TCA); taxa de crescimento relativo (TCR) (REIS e MULLER, 1979; PEREIRA e MACHADO, 1987); taxa assimilatória líquida (TAL); área foliar específica (AFE); razão de peso de folha (RPF) (BENINCASA, 1988).

4.5.1 Taxa de crescimento absoluto (TCA)

A TCA (mg/dia) avalia a produtividade líquida. É o somatório das taxas de crescimento dos diversos componentes das plantas (REIS e MULLER, 1979; PEREIRA e MACHADO, 1987).

$$TCA = (W2 - W1) / (t2 - t1)$$

Em que: W1= massa seca total inicial; W2 = massa seca total final; t = tempo em dias; 1 e 2 = duas amostragens sucessivas.

4.5.2 Taxa de crescimento relativo (TCR)

A TCR (g/g/dia) expressa o incremento na massa de matéria seca, por unidade de massa inicial, em um intervalo de tempo (REIS e MULLER, 1979). Para valores médios, usa-se:

$$TCR = (\ln W2 - \ln W1) / (t2 - t1)$$

Em que: Ln = logaritmo neperiano; W1= massa seca total inicial; W2 = massa seca total final; t = tempo em dias; 1 e 2 = duas amostragens sucessivas.

4.5.3 Taxa assimilatória líquida (TAL)

A TAL (g/mm/dia) representa a taxa de fotossíntese líquida, em termos de matéria seca sintetizada (em gramas), por área foliar, por unidade de tempo (BENINCASA, 1988).

Para valores médios, usa-se:

$$TAL = [(W2 - W1) / (t2 - t1)] \times [(Ln AF2 - Ln AF1) / (AF2 - AF1)]$$

Onde: Ln = logaritmo neperiano; W1= massa seca total inicial; W2 = massa seca total final
t = tempo em dias; 1 e 2 = duas amostragens sucessivas; AF1 = área foliar inicial; AF2 = área foliar final.

4.5.4 Razão de área foliar (RAF)

A RAF (cm²/g) representa a relação entre a área foliar e a massa seca total da planta. É denominado ainda quociente de área foliar e, mostra a área foliar disponível para que ocorra a fotossíntese (BRIGGS et al., 1920).

$$RAF = (AF / W)$$

Onde: AF= Área foliar; W = Massa seca total.

4.5.5 Área foliar específica (AFE)

A AFE (cm²/g) é o componente morfológico e anatômico, porque relaciona a superfície com o peso de matéria seca da própria folha e indica a espessura da folha (BENINCASA, 1988).

$$AFE = AF / MS_{folha}$$

Onde: AF = área foliar; MSfolha = massa seca de folhas.

4.5.6 Razão de peso de folha (RPF)

A RPF (g/g) é basicamente fisiológica, pois, a RPF expressa a fração de matéria seca não exportada das folhas para o resto da planta, ou seja, quanto menor é a RPF, maior foi a exportação de assimilados pela fotossíntese, da folha para o restante da planta (BENINCASA, 1988).

$$RPF = MS_{folha} / MS_{total}$$

Onde: MSfolha = massa seca de folhas; MStotal = massa seca total.

4.6 Análise de pigmentos

Os teores de pigmentos foram determinados usando o método de extração com Dimetilsulfoxido (DMSO) (Argenta et al., 2001). Dois discos foliares, de 1,3 mm do material foliar por indivíduo, coletados no período da manhã foram imersos em 7 mL de DMSO e incubados a 60 °C por 120 minutos no escuro (HISCOX e ISRAELSTAM, 1979). A leitura do extrato foi realizada em espectrofotômetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Scientific) nas absorvâncias de 480, 645, 663 nm. Os cálculos dos teores de pigmentos foram baseados nas equações de Lichtenthaler e Welburn (1983) pelas seguintes fórmulas:

$$\text{Clor } a = ((12,7.A_{663}) - (2,69.A_{645})).V/(1000.M)$$

$$\text{Clor } b = ((22,9.A_{645}) - (4,68.A_{663})).V/(1000.M)$$

$$\text{Clor. total} = ((20,2.A_{663}) - (2,69.A_{645})).V/(1000.M)$$

$$\text{Carot} = ((1000.A_{470}) - (1,82.Chl\ a - 85,02.Chl\ b)).V/(198.1000.M)$$

Sendo que Clor e Carot significam clorofila e carotenoides, respectivamente. A663, A645 e A470 representam os valores das absorvâncias; V é o volume de DMSO (em mL) utilizado para a extração e M é a massa seca dos discos.

4.7 Análise físico-química do solo

Amostras de solo do cultivo foram enviadas para análise no Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental, Linhares-ES, para caracterização química e física, seguindo a metodologia descrita pela Embrapa (1997).

4.8 Teor relativo de água nas folhas (TRA)

O TRA (%) é um dos indicadores das relações hídricas da planta, que corresponde à quantidade de água no tecido num dado instante, comparando com a capacidade máxima de água que ele poderá reter (CAIRO, 1995). No presente estudo o TRA foi obtido a partir da primeira folha nova completamente expandida. As amostras compostas de dois discos foliares com 1 cm de diâmetro foram retiradas do centro do limbo foliar evitando as nervuras, e imediatamente pesadas utilizando-se uma balança de precisão, obtendo-se a massa da matéria fresca (MF). Em seguida os discos foram acomodados em recipientes escuros e submersos em água destilada para atingirem saturação hídrica, sendo mantidos em geladeira a aproximadamente 4°C durante o período de 24 horas. Posteriormente os discos foram retirados da água, eliminando-se o excesso de água com papéis absorventes, e pesados imediatamente para a determinação da massa túrgida (MT). Em seguida obteve-se a massa seca (MS) por meio da secagem dos discos em estufa (65 °C) até atingirem massa constante.

O TRA evidencia a quantidade de água nos tecidos vegetais, sendo expresso em porcentagem. Foi calculado por meio da equação: $TRA = [(MF - MS) / (MT - MS)] \times 100$.

Onde: MF = Massa fresca dos discos foliares; MS = Massa seca dos discos foliares; MT = Massa túrgida dos discos foliares.

4.9 Análise estatística

Foram realizadas análises de variância para as variáveis qualitativas (regimes hídricos) e regressão para as quantitativas (doses de SiO₂). As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott 5%. Todas as análises estatísticas foram executadas utilizando o programa Assistat 7.7 beta (2014).

5. RESULTADOS

Houve visualmente maior crescimento nas plantas do tratamento a 100% da capacidade de campo (CC), em relação às plantas mantidas a 35% CC tratadas com as diferentes doses de SiO_2 3a: 0; 3b: 1,0; 3c: 2,0; 3d: 3,0 g/L (Figuras 2 e 3).

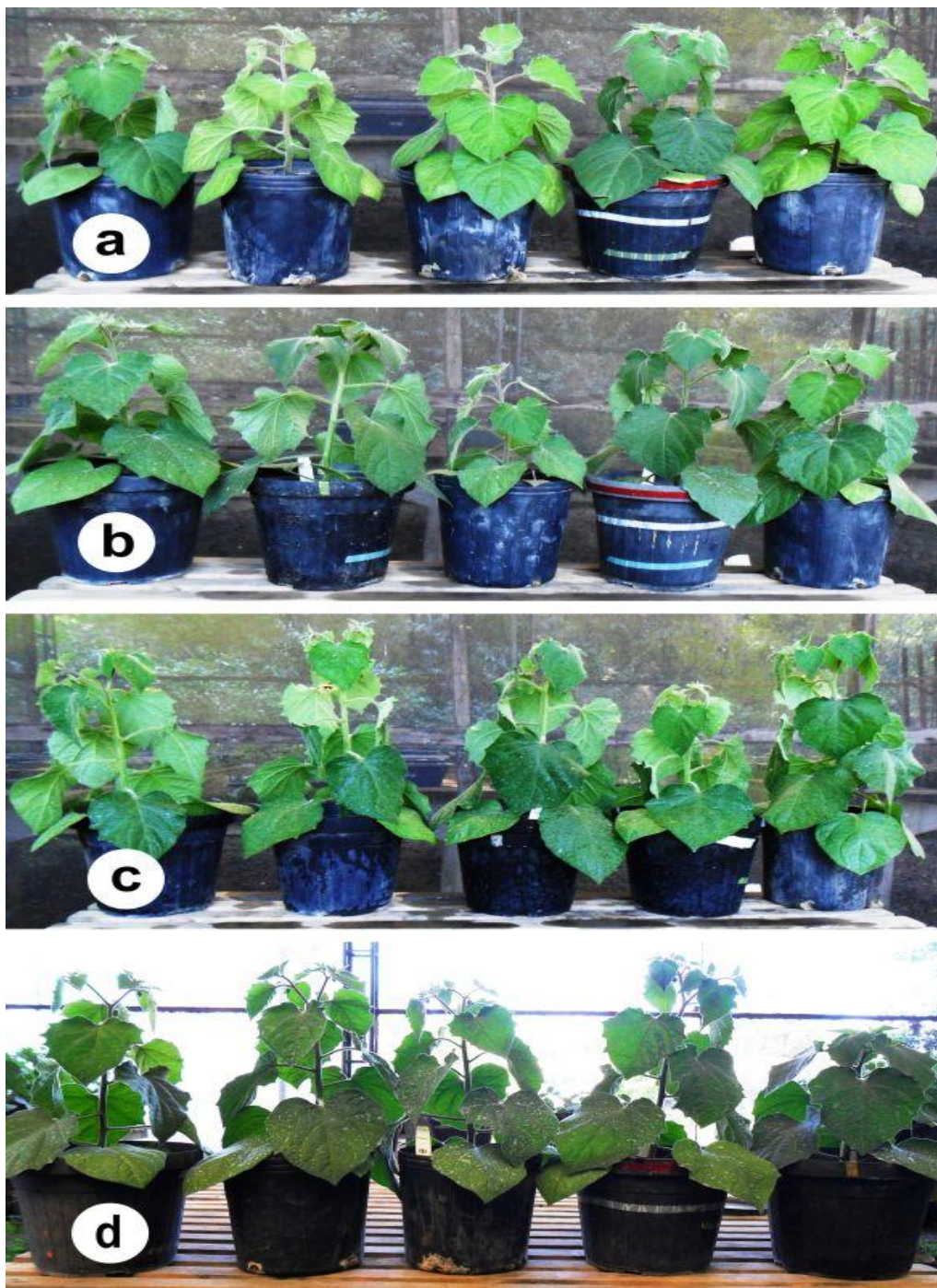


Figura 2. Plantas de *P. peruviana* em 100% da capacidade de campo submetidas às diferentes doses de SiO_2 ao 80º dia, a: 0 g/L de SiO_2 ; b: 1,0 g/L de SiO_2 ; c: 2,0 g/L SiO_2 ; d: 3,0 g/L SiO_2 .

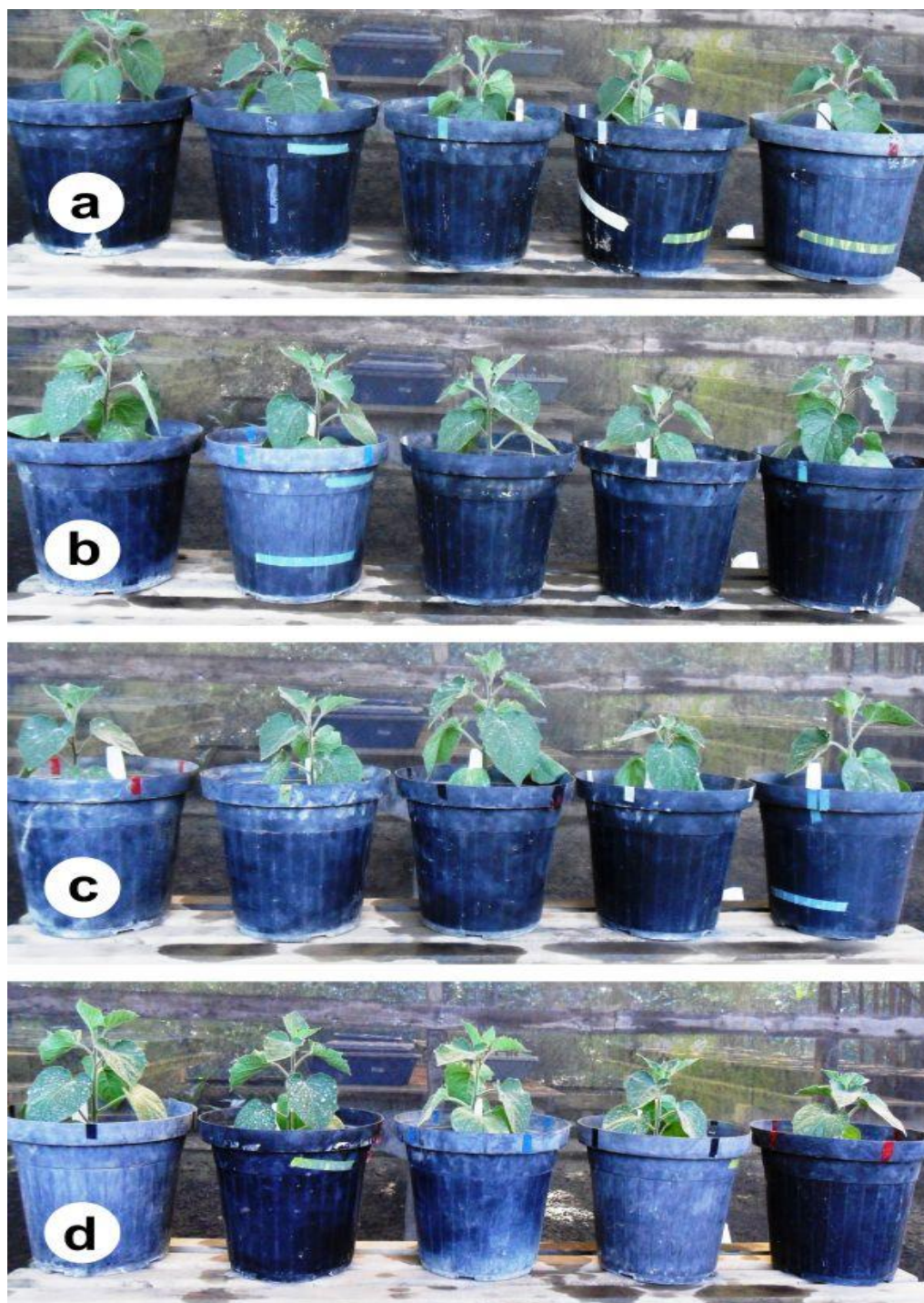


Figura 3. Plantas de *P. peruviana* em 35% da capacidade de campo submetidas às diferentes doses de SiO_2 ao 80º dia, a: 0 g/L de SiO_2 ; b: 1,0 g/L de SiO_2 ; c: 2,0 g/L SiO_2 ; d: 3,0 g/L SiO_2 .

5.1 Características hídricas

A análise de regressão comprova o efeito do silício no aumento do teor de água foliar em ambos os regimes hídricos (Figura 4). As plantas cultivadas com restrição hídrica de 35% CC apresentaram resposta quadrática com redução no teor relativo de água foliar em dose

acima de 1,21 g/L de SiO₂, sendo esta a dose correspondente ao ponto máximo. Afirmando que o SiO₂ correspondente a esta concentração no teste de média (1,0 g/L de SiO₂) conferiu maior resistência a seca pois aumentou o status hídrico das folhas mesmo quando as plantas foram cultivadas sob déficit hídrico severo de 35% CC (Tabela 3). A partir de 1,0 g/L de SiO₂, o acréscimo de silício foliar nas plantas em déficit hídrico proporcionou efeito negativo para a manutenção hídrica das folhas tanto em 2,0 quando em 3,0 g/L de SiO₂. Ao contrário das plantas em boas condições de irrigação onde as maiores doses de SiO₂ proporcionaram ainda maior teor de água foliar (Tabela 3).

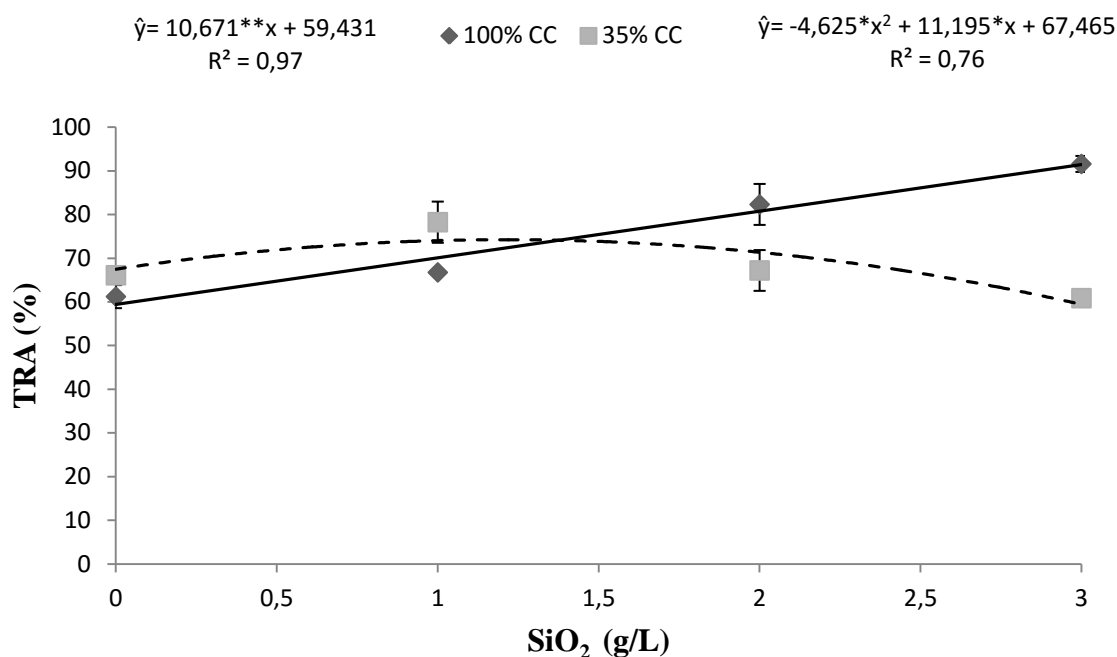


Figura 4. Teor relativo de água nas folhas de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO₂ em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

Tabela 3 – Efeito dos regimes hídricos sobre o teor relativo de água nas folhas de *Physalis peruviana* L. em diferentes doses de SiO₂.

Regime hídrico	SiO ₂ (g/L)				CV %
	0,0	1,0	2,0	3,0	
Teor de água nas folhas (%)					
100% CC	61,18 a	66,72 b	82,29 a	91,56 a	10,37
35% CC	66,07 a	78,22 a	67,17 b	60,82 b	

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade. 100% CC: cem por cento da capacidade de campo, 35% CC: trinta e cinco por cento da capacidade de campo; CV: coeficiente de variação.

5.2 Conteúdo de pigmentos fotossintéticos

Para os dados quantitativos, a análise de regressão de curva quadrática mostrou aumento no teor de clorofila *a* com o incremento da dose de SiO₂ na solução de fertilização foliar com ponto máximo de 1,93 g/L nas plantas cultivadas sob regime hídrico a 100% CC (Figura 5).

Quando as plantas foram cultivadas sob déficit hídrico de 35% CC a regressão não obteve resposta linear nem quadrática (Figura 5). A clorofila *b* (Figura 6), clorofila *total* (Figura 7) e carotenoides (Figura 8) apresentaram resultados com distribuição similar ao anteriormente citado para clorofila *a*, diferindo no ponto máximo; 1,49 g/L de SiO₂ para clorofila *b*, 1,81 g/L para clorofila *total* e 1,62 g/L de SiO₂ para carotenoides. Não foram observadas diferenças significativas nos teores de pigmentos fotossintéticos em função do regime hídrico (Tabela 4).

Tabela 4 – Efeito dos regimes hídricos sobre os teores de pigmentos fotossintéticos (mg/g MS) nas folhas de *Physalis peruviana* L. em diferentes doses de SiO₂.

Parâmetro	SiO ₂ (g/L)				CV %
	0,0	1,0	2,0	3,0	
Clorofila <i>a</i>					
100% CC	13,32 ns	16,01	21,79	16,87	21,15
35% CC	19,33	23,37	19,99	20,03	
Clorofila <i>b</i>					
100% CC	3,33 ns	4,20	4,61	3,43	25,02
35% CC	4,05	4,22	3,95	4,33	
Clorofila total					
100% CC	21,78 ns	29,11	35,56	27,54	23,01
35% CC	31,52	35,98	32,60	32,71	
Carotenoides					
100% CC	10,38 ns	18,49	20,65	12,92	29,38
35% CC	13,05	16,89	13,14	15,24	

ns: não significativo pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade. 100% CC: cem por cento da capacidade de campo, 35% CC: trinta e cinco por cento da capacidade de campo.

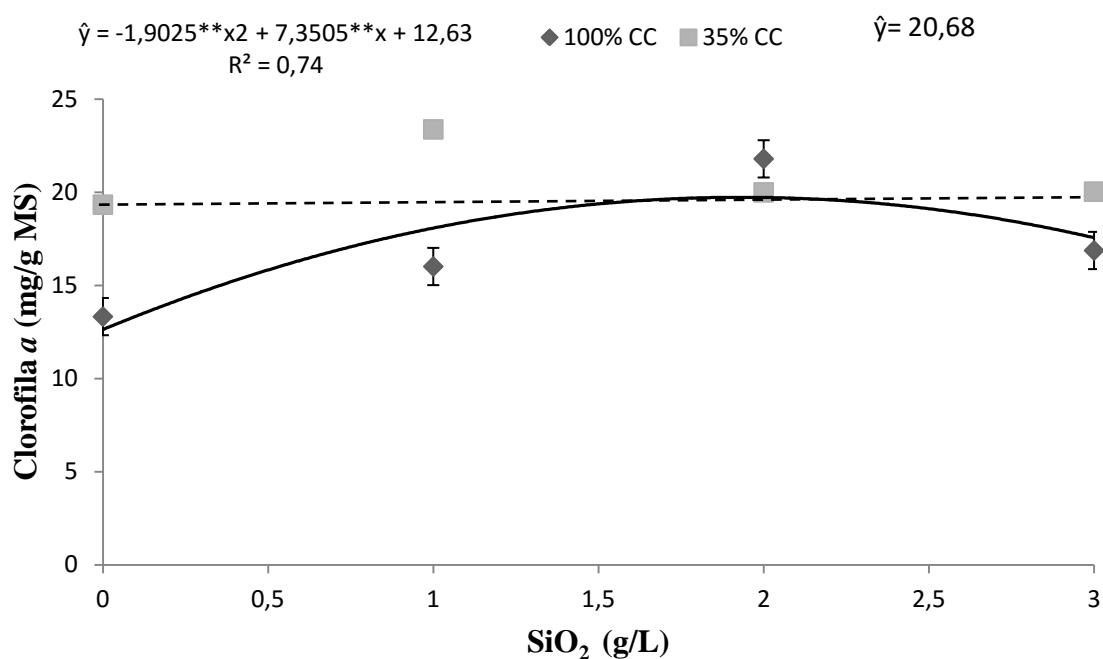


Figura 5. Clorofila *a* nas folhas de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO₂ em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

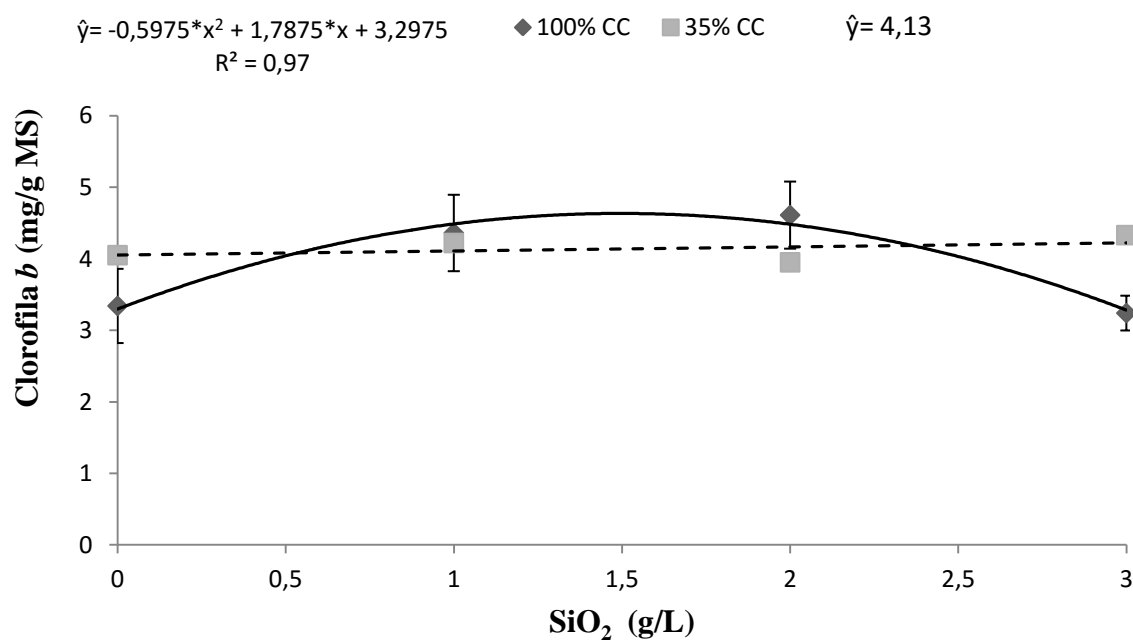


Figura 6. Clorofila *b* nas folhas de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO₂ em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

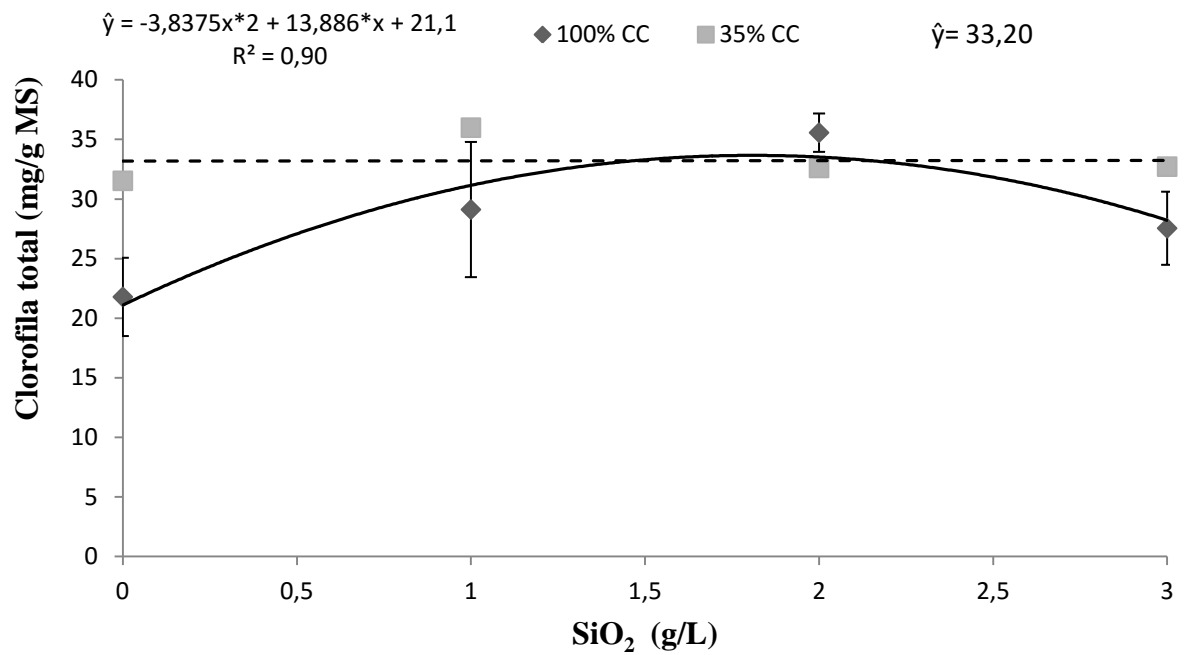


Figura 7. Clorofila total nas folhas de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO₂ em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

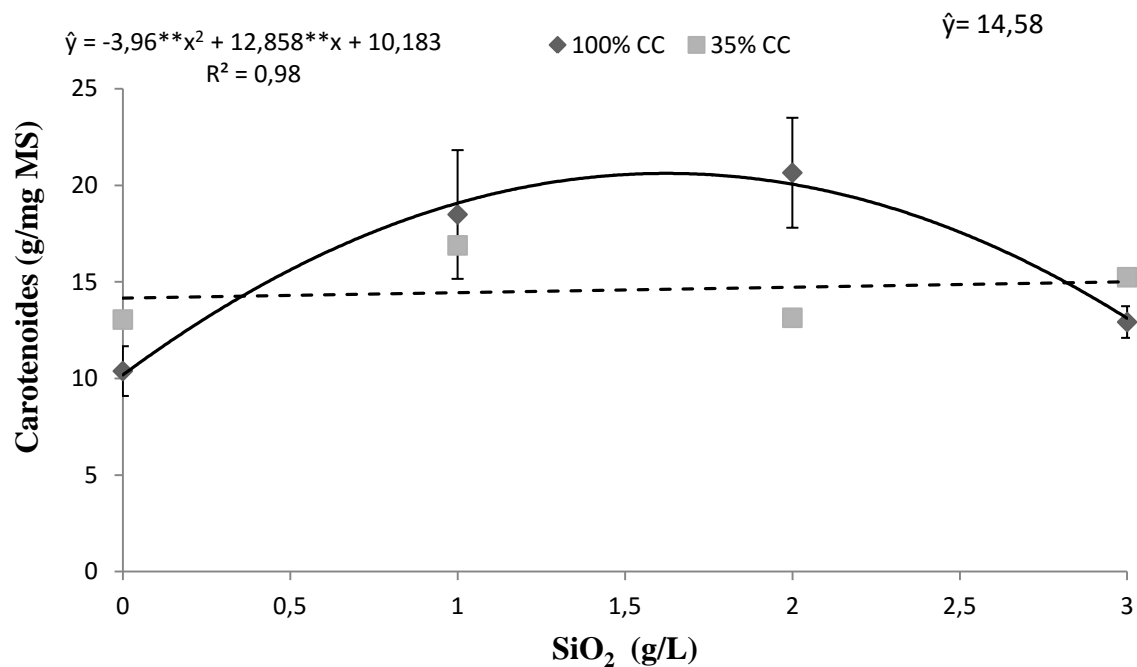


Figura 8. Carotenoides nas folhas de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO₂ em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

5.3 Variáveis de crescimento

5.3.1 Crescimento

O crescimento de *P. peruviana* foi prejudicado pelo déficit hídrico de 35% (Tabela 5). No entanto, a medida de comprimento de caule (Figura 11) mostra que houve um aumento no comprimento do caule em condição associada entre irrigação a 100% CC e adubação com silício. Nos outros parâmetros (Figuras 10 e 12), a adubação com silício não foi eficaz em auferir aumento de crescimento quando as plantas foram mantidas em déficit hídrico. Os pontos máximos das respostas quadráticas podem ser consultados no Apêndice A.

Tabela 5. Efeito dos regimes hídricos sobre os parâmetros de crescimento de *Physalis peruviana* L. em diferentes doses de SiO₂.

Regime hídrico	SiO ₂ (g/L)				CV%
	0,0	1,0	2,0	3,0	
Área foliar (cm ²)					
100% CC	114,15 a	147,59 a	187,07 a	152,86 a	19,56
35% CC	22,50 b	33,56 b	22,27 b	16,19 b	
Comprimento do caule (cm ²)					
100% CC	54,80 a	59,25 a	92,10 a	74,80 a	23,19
35% CC	12,12 b	13,87 b	14,00 b	17,33 b	
Diâmetro do caule (mm ²)					
100% CC	8,68 ns	9,60	9,67	9,43	3,94
35% CC	4,97	5,73	5,60	5,48	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade, médias não seguidas de letras, mostram que não houveram interações estatísticas, ns: não significativo. 100% CC: cem por cento da capacidade de campo, 35% CC: trinta e cinco por cento da capacidade de campo.

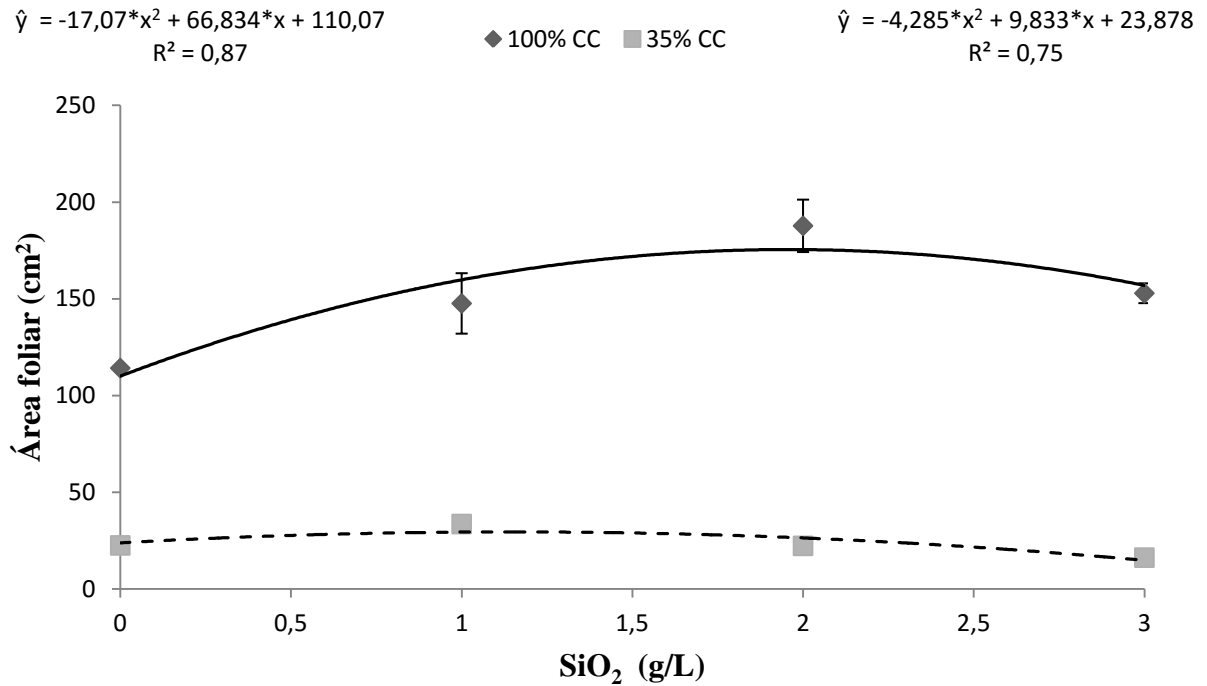


Figura 10. Área foliar de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO₂ em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

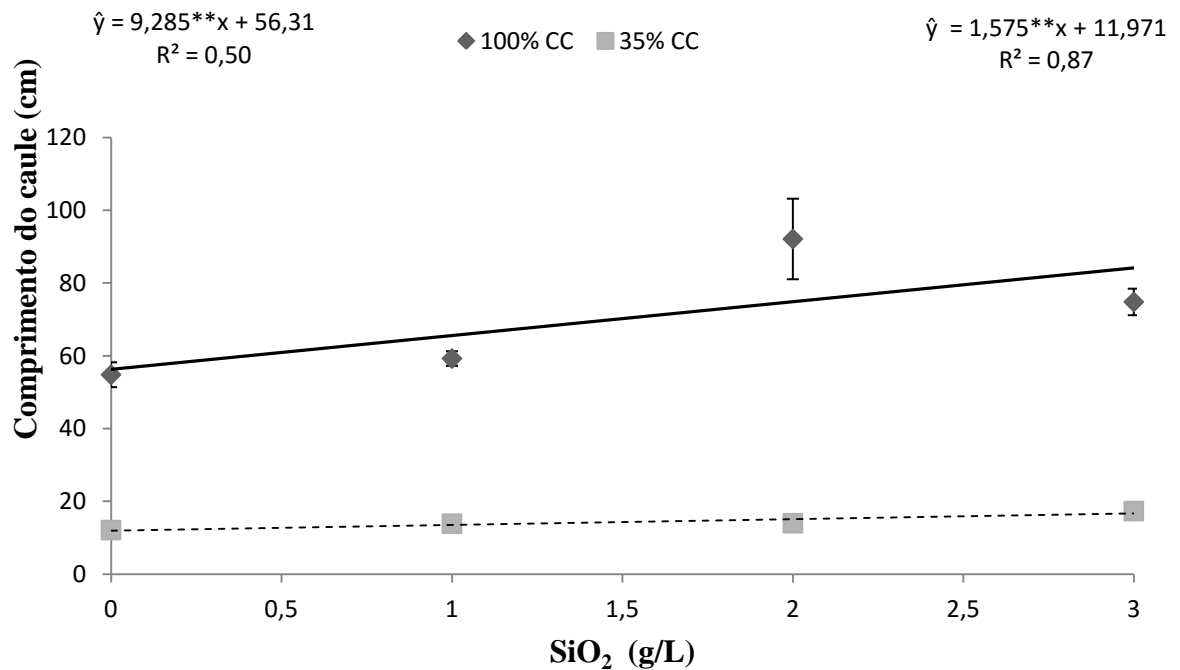


Figura 11. Comprimento do caule de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO₂ em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

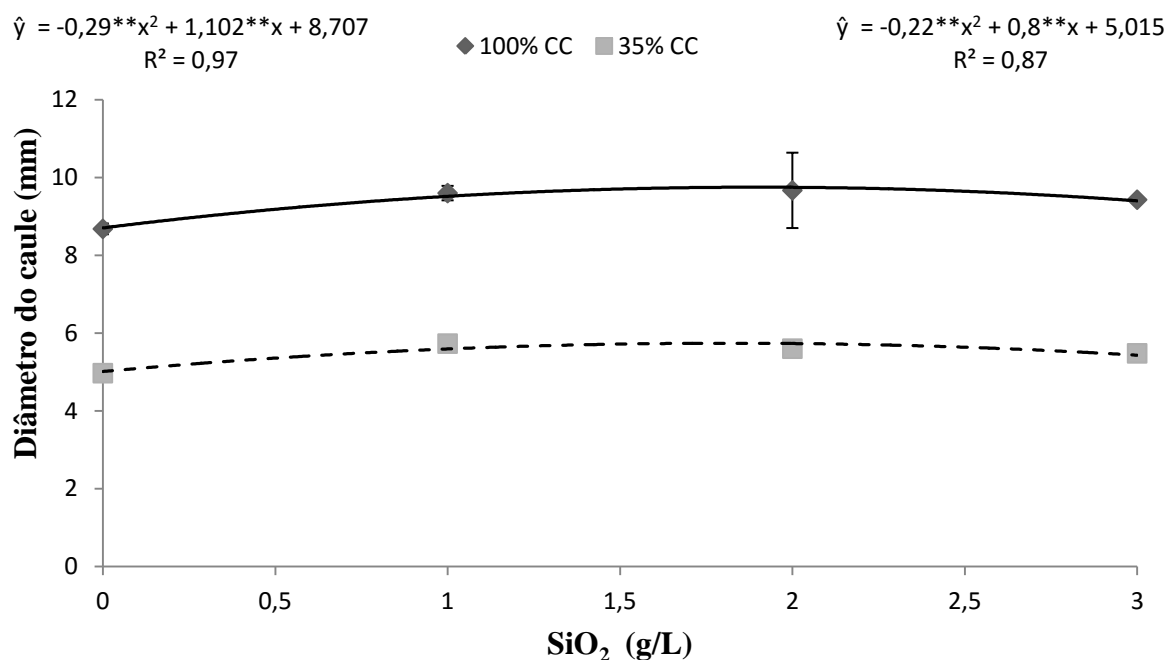


Figura 12. Diâmetro do caule de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO₂ em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

5.3.2 Massa seca

O SiO₂ não influenciou no ganho de massa seca de folhas, raiz e massa seca total em ambos os regimes hídricos (Figuras 13, 15 e 16). O regime hídrico de 35% CC influenciou negativamente o ganho de massa seca em todos os parâmetros analisados (Tabela 6). Foi formada regressão para massa seca do caule no regime hídrico a 100% CC (Figura 14), demonstrando que em regime hídrico adequado o silício foi eficaz em promover ganhos de massa seca neste parâmetro. Os pontos máximos das respostas quadráticas podem ser consultados no Apêndice A.

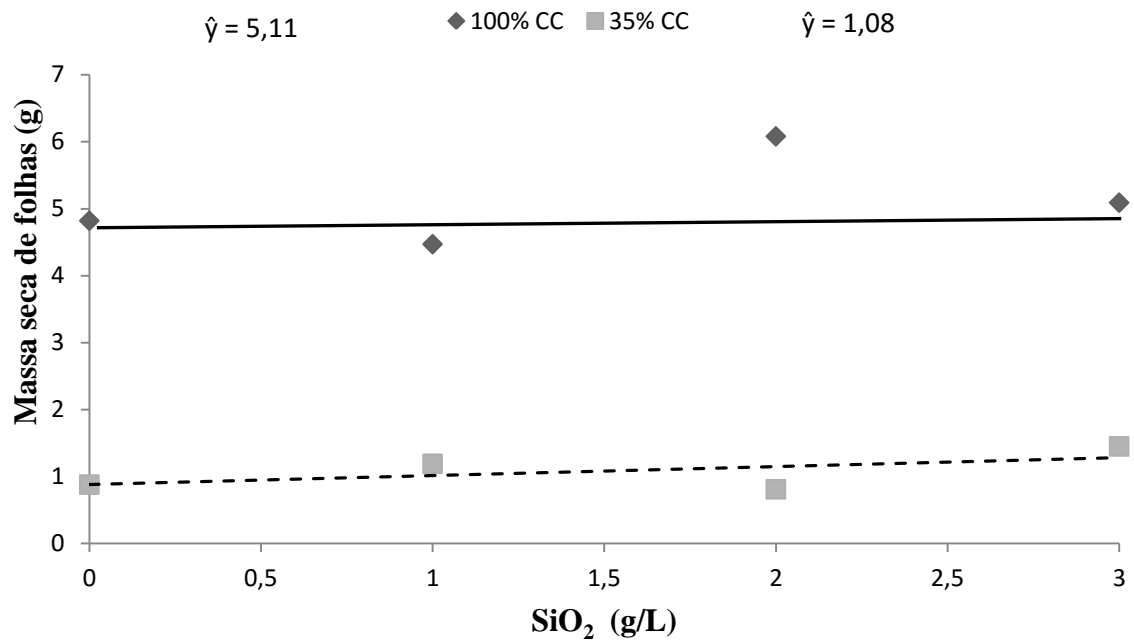


Figura 13. Massa seca das folhas de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO_2 em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

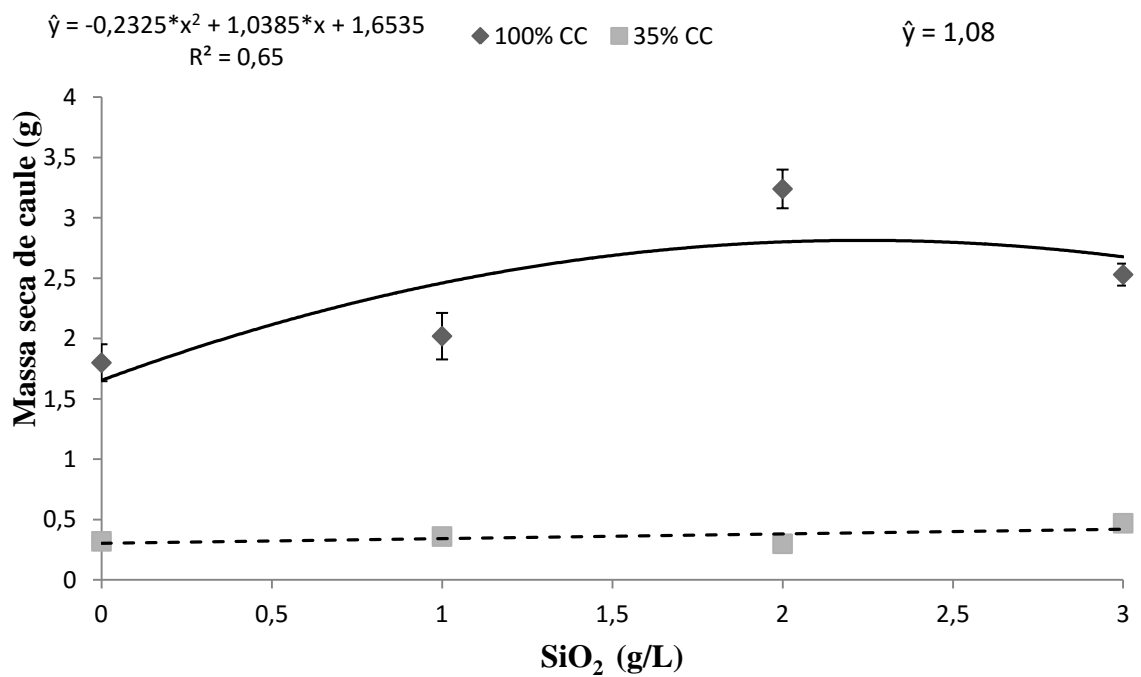


Figura 14. Massa seca do caule de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO_2 em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

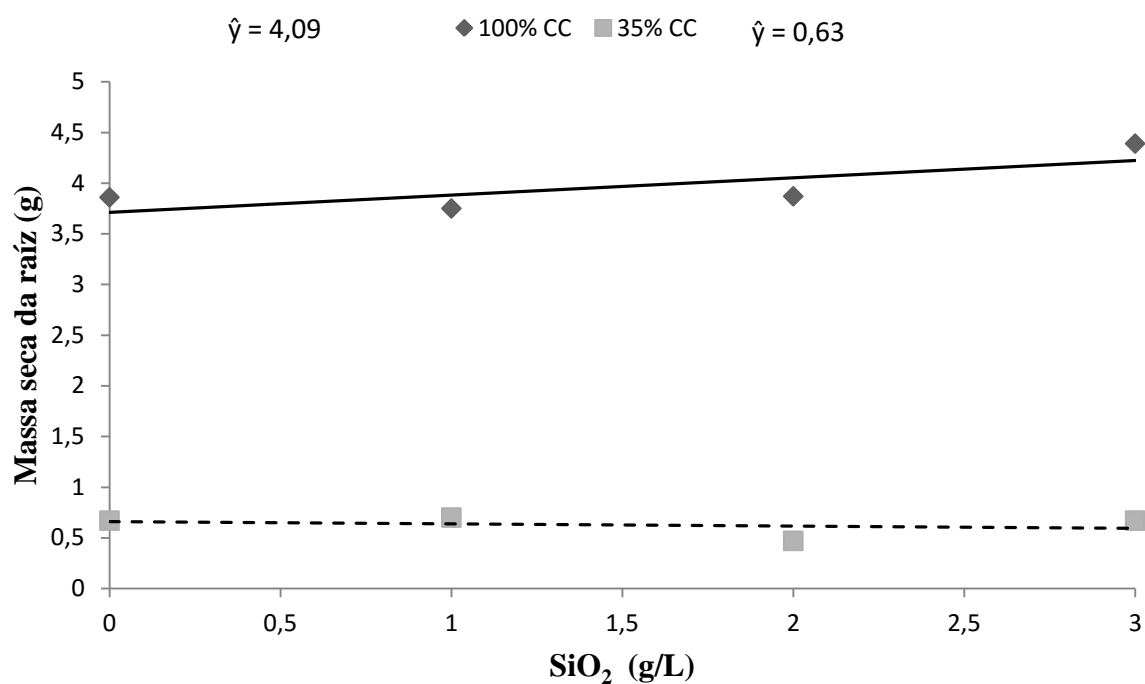


Figura 15. Massa seca da raiz de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO_2 em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

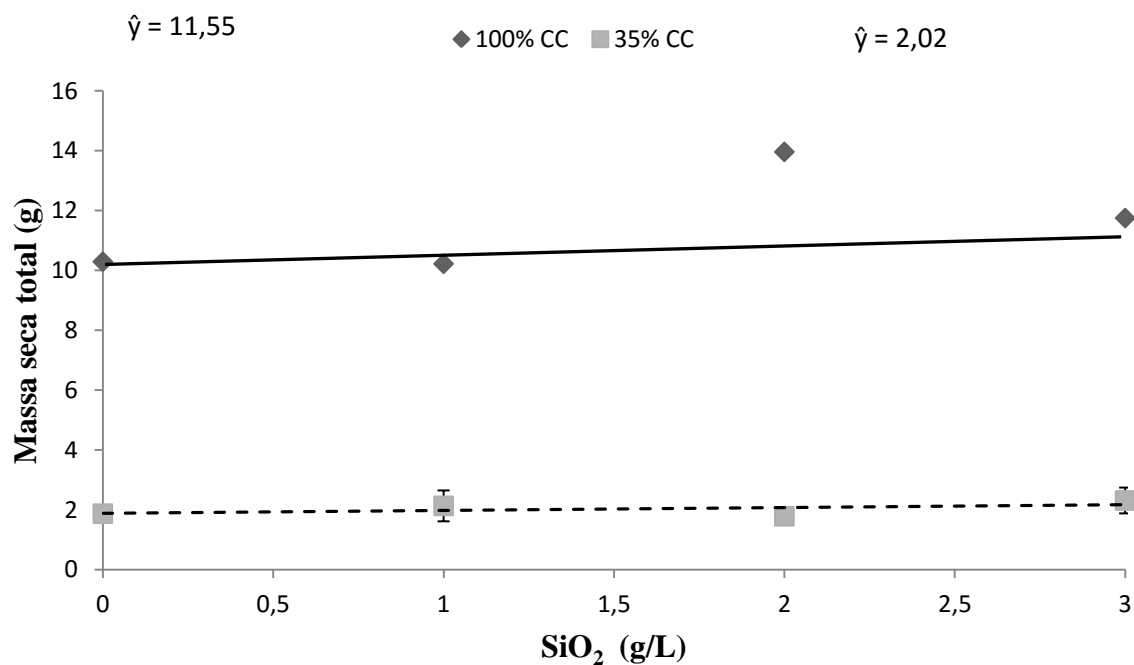


Figura 16. Massa seca total de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO_2 em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

Tabela 6 – Efeito dos regimes hídricos sobre a massa seca de *Physalis peruviana* L. em diferentes doses de SiO₂.

Regime hídrico	SiO ₂ (g/L)				CV %
	0,0	1,0	2,0	3,0	
Massa seca de folhas (g)					
100% CC	4,82 a	4,47 a	6,08 a	5,09 a	17,37
35% CC	0,88 b	1,19 b	0,81 b	1,45 b	
Massa seca de caule (g)					
100%CC	1,80 a	2,02 a	3,24 a	2,53 a	17,88
35% CC	0,32 b	0,36 b	0,30 b	0,47 b	
Massa seca de parte aérea (g)					
100% CC	6,11 a	7,71 a	9,33 a	7,65 a	15,90
35% CC	1,15 b	1,56 b	1,23 b	1,72 b	
Massa seca de raiz (g)					
100%CC	3,86 a	3,75 a	3,87 a	4,39 a	18,21
35% CC	0,67 b	0,70 b	0,47 b	0,67 b	
Massa seca total (g)					
100%CC	10,29 a	10,22 a	13,96 a	11,75 a	12,40
35% CC	1,87 b	2,13 b	1,78 b	2,31 b	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade, médias não seguidas de letras mostram que não houve interações estatísticas, ns: não significativo. 100% CC: cem por cento da capacidade de campo, 35% CC: trinta e cinco por cento da capacidade de campo; CV: coeficiente de variação.

5.3.3 Taxas e razões de crescimento

O déficit hídrico influenciou negativamente as taxas e razões de crescimento (Tabela 7). Contudo, houve efeito benéfico da adubação foliar com SiO₂ em aumentar a taxa de crescimento absoluto (Figura 17) e a taxa de crescimento relativo (Figura 18) nas plantas de fisális em regime hídrico a 35% CC, alegando que a produtividade líquida da cultura foi beneficiada com a adubação silicatada mesmo quando as plantas estiveram mantidas em déficit hídrico.

A taxa assimilatória líquida somente formou regressão nas plantas cultivadas no regime hídrico de 100% CC (Figuras 19). Apesar, este resultado constata a ação benéfica da adubação foliar com silício para as plantas de fisális, pois promoveu maior fotossíntese

liquida, concedendo auxílio fisiológico para maior acumulação de matéria seca sintetizada por área foliar no período de 30 dias.

Plantas de ambos os regimes hídricos fertilizadas via foliar com SiO_2 até a dosagem de 1,93 g/L para o regime hídrico a 100% CC e 1,56 g/L para 35% CC apresentaram maior razão de área foliar para que ocorra a fotossíntese (Figura 20), o que promove maior acúmulo de fotossintetizados e consequentemente biomassa. A área foliar específica apresentou para ambos os regimes hídricos maiores valores quando as plantas foram fertilizadas via foliar com solução aquosa de SiO_2 (Figura 21).

O resultado da razão de peso de folha das plantas no regime hídrico de 100% CC mostra que a adubação com silício promoveu maior exportação de fotossintetizados da folha para o restante da planta (Figura 22), constatando que plantas fertilizadas com silício em adequado regime hídrico estão mais bem preparadas para o período de frutificação. A exportação de fotossintetizados da folha para o restante da planta não foi significativa quando a fisalis foi cultivadas em déficit hídrico, mesmo adubadas com silício. Os pontos máximos das regressões quadráticas podem ser consultados no Apêndice A.

Tabela 7. Efeito dos regimes hídricos sobre as taxas e razões de crescimento de *Physalis peruviana* L. em diferentes doses de SiO_2 .

Regime hídrico		SiO ₂ (g/L)				CV %
		0,0	1,0	2,0	3,0	
Taxa de crescimento absoluto (mg/mês)						
100% CC		330,0 a	320,0 a	450,0 a	370,00 a	13,22
35% CC		51,00 b	52,0 b	45,00 b	72,00 b	
Taxa de crescimento relativo (g/g/mês)						
100% CC		2,36 a	2,34 a	2,66 a	2,48 a	6,89
35% CC		0,65 b	0,68 b	0,56 b	0,93 b	
Taxa assimilatória líquida (g/mm/mês)						
100% CC		2,32 a	2,36 a	3,09 a	2,76 a	16,83
35% CC		0,27 b	0,30 b	0,23 b	0,36 b	
Razão de área foliar (cm ² /mg)						
100% CC		11,03 ns	12,94	15,54	13,10	27,33
35% CC		11,12	14,52	12,44	12,81	
Área foliar específica (cm ² /mg)						
100% CC		21,54 ns	27,30	34,42	30,25	22,81
35% CC		23,46	25,27	27,28	22,78	
Razão de peso de folha (mg/mg)						
100% CC		780 a	590 b	650 a	650 b	10,63
35% CC		760 a	760 a	670 a	760 a	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade, médias não seguidas de letras, mostram que não houveram interações estatísticas, ns: não significativo. 100% CC: cem por cento da

capacidade de campo, 35% CC: trinta e cinco por cento da capacidade de campo; CV: coeficiente de variação.

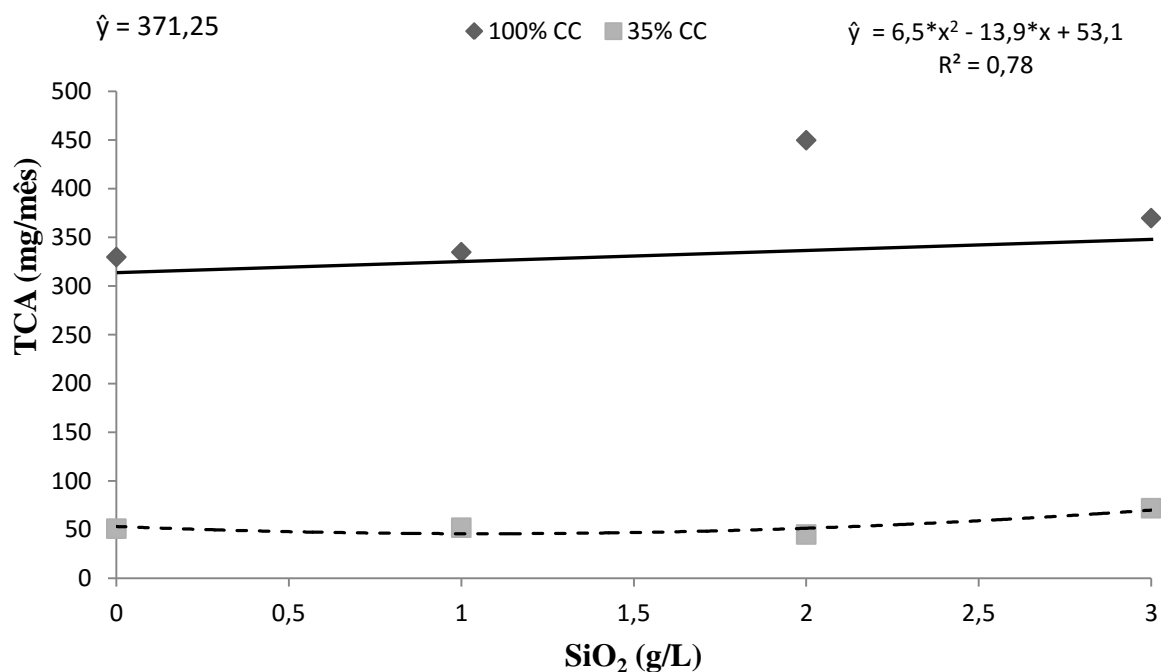


Figura 17. Taxa de crescimento absoluto de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO_2 em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

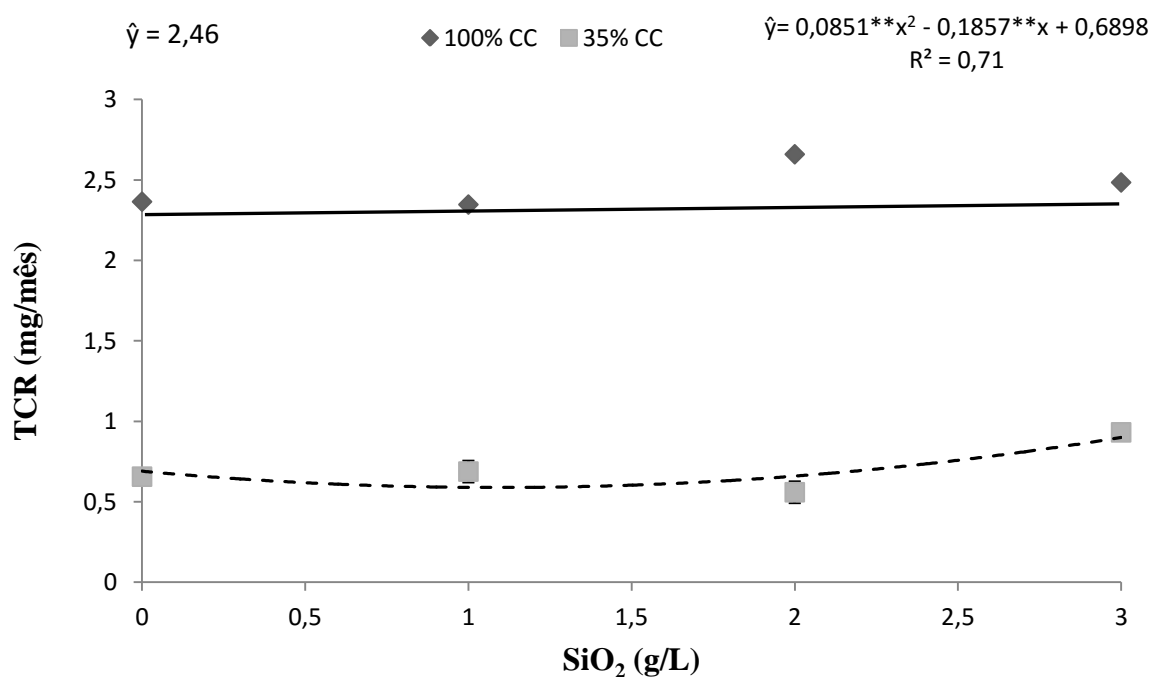


Figura 18. Taxa de crescimento relativo de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO_2 em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

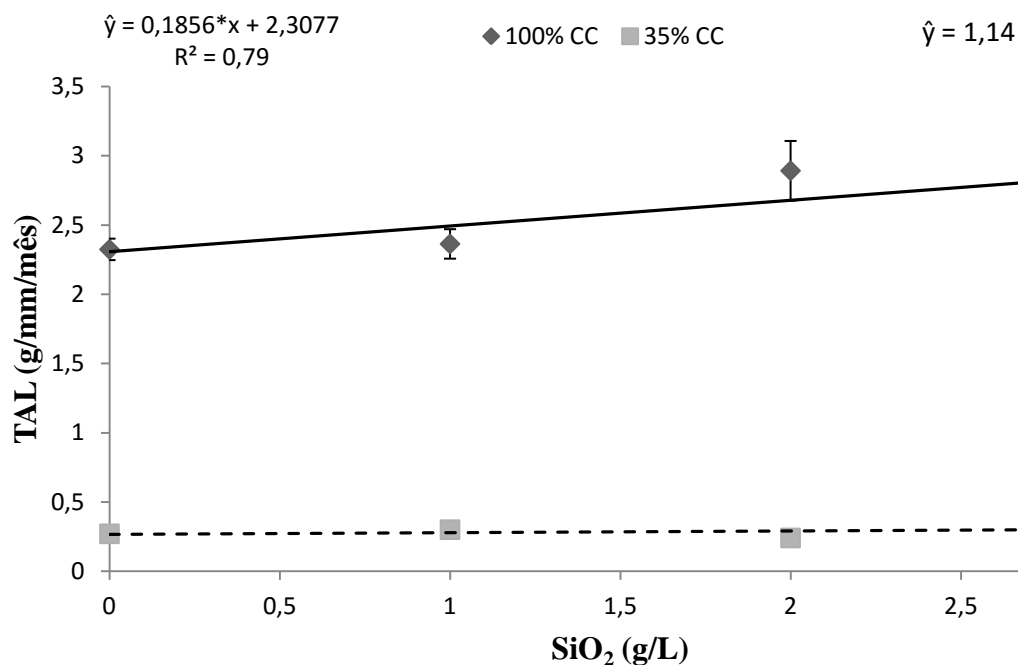


Figura 19. Taxa assimilatória líquida de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO₂ em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

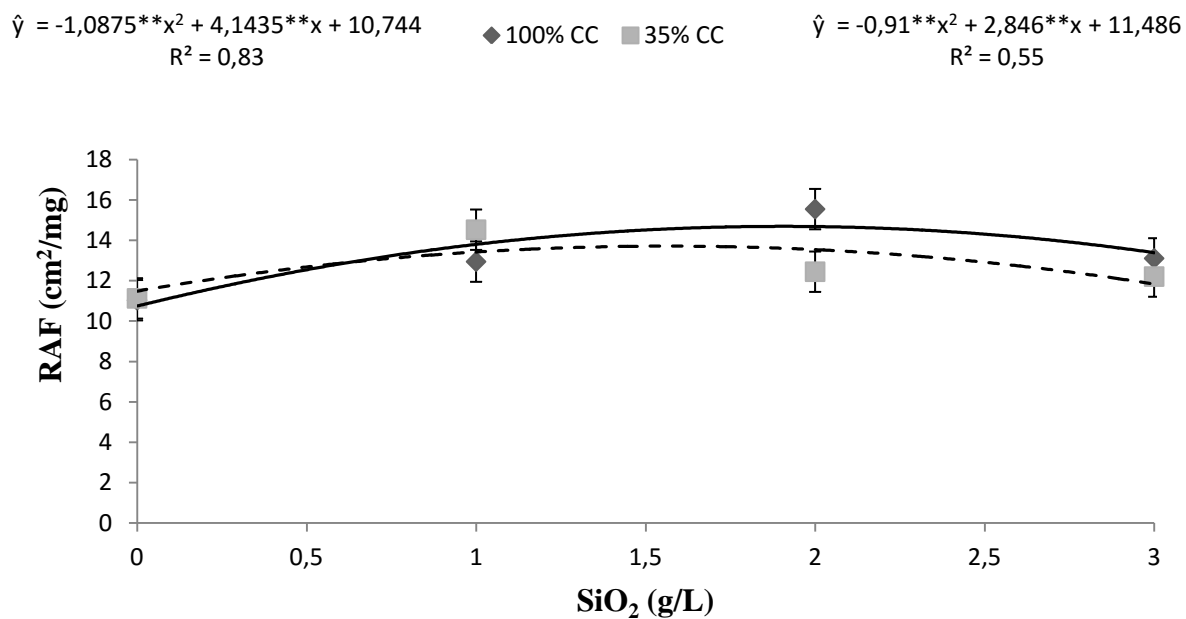


Figura 20. Razão de área foliar de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO₂ em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

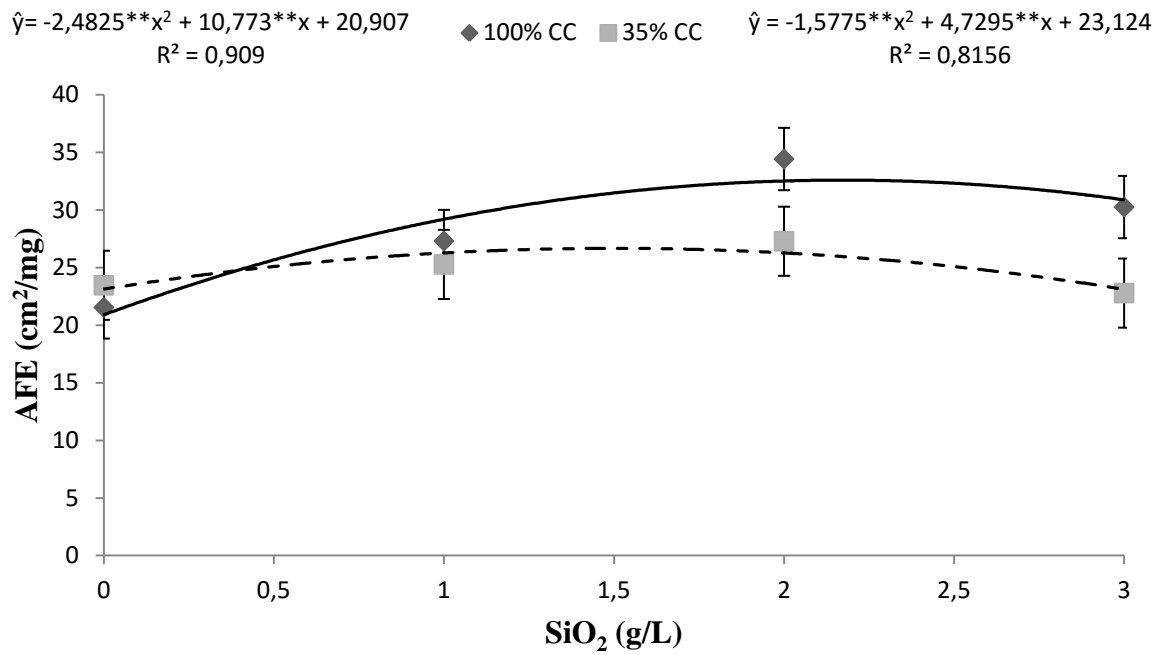


Figura 21. Área foliar específica de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO₂ em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

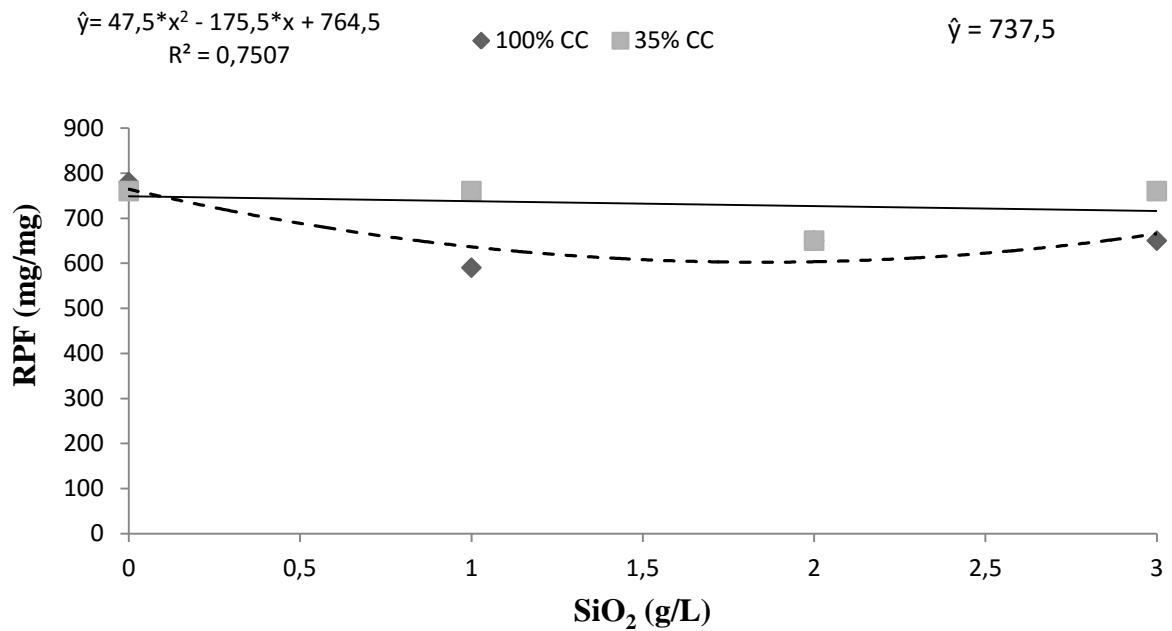


Figura 22. Razão de peso de folha de *Physalis peruviana* em função de doses de SiO₂ em plantas cultivadas sob dois regimes hídricos (n=5).

6. DISCUSSÃO

A disponibilidade hídrica é o principal fator limitante no rendimento das culturas (LECOEUR & SINCLAIR., 1996), e estudos de técnicas que auxiliem na tolerância de plantas ao déficit hídrico são de grande auxílio na agricultura. Autores vêm descrevendo a importância do silício na tolerância ao déficit hídrico e ao estresse salino (CHEN et al., 2011; ZHU & GONG., 2014). O silício reduz a taxa de transpiração e a condutância estomática, pois se deposita em forma de cristais na parede epidérmica auxiliando na redução da perda de água pela cutícula e estômatos, consequentemente promovendo o aumento do conteúdo de água em plantas (ROMERO-ARANDA et al., 2006; Gao et al., 2006; GONG et al., 2008).

As plantas de *P. peruviana* responderam positivamente a aplicação foliar de silício, apresentando aumento do teor relativo de água nas folhas em relação às plantas tratadas com 0,0 g/L SiO₂ em ambos os regimes hídricos. Tal resultado assemelha-se ao observado por diversos autores para outras espécies vegetais, em que relatam o uso promissor do silício na tolerância ao déficit hídrico, como anteriormente citado. No entanto, doses maiores que 1,21 g/L de SiO₂ nas plantas submetidas ao regime hídrico de 35% CC promoveram decréscimo no teor relativo de água nas folhas. Isso mostra que o efeito benéfico do silício é diretamente proporcional ao aumento da sua dose até um nível ótimo, a partir do qual, a adubação torna-se excessiva e ineficiente para as plantas de *P. Peruviana* em déficit hídrico severo (35% CC).

Além do aumento do conteúdo de água foliar pelo acúmulo de sílica abaixo da cutícula das células epidérmicas, criando resistência contra a perda de água. A adubação com silício também tem sido extensivamente correlacionada ao aumento da taxa fotossintética, conferido pela melhoria na arquitetura foliar e por prevenir o fechamento dos estômatos, o que permite maior penetração de luz e maior absorção de CO₂ (TAKAHASHI., 1995).

Aumentos significativos na taxa fotossintética, consequentemente maior assimilação de carbono foram proporcionadas pela adubação com silício em plantas de *Oryza sativa* cultivadas em câmara de crescimento (DALLAGNOL et al., 2013), em plantas de sorgo sob déficit hídrico (HATTORI et al., 2005) e em plantas de pepino submetidas a aplicação exógena de silício, via foliar (PING-YAN et al., 2014). Este aumento da taxa fotossintética está intimamente relacionado com a abertura estomática para a entrada de CO₂ atmosférico, o que promove maior perda de água pela transpiração via estômatos (NI & PALLARDYS., 1992; TAIZ & ZEIGER., 2009).

Nesta pesquisa, dose de SiO₂ acima 1,21 g/L nas plantas cultivadas em déficit hídrico de 35% CC pode ter favorecido o aumento da taxa fotossintética em *P. peruviana* (em ambos os regimes hídricos), consequentemente a transpiração. Neste caso, as plantas sob-boas condições de irrigação possuíam água disponível o que permitiu suportar tal aumento na transpiração e a manutenção do teor de água nas folhas. No entanto, as plantas em déficit hídrico podem ter sofrido com este possível aumento da transpiração por terem sido cultivadas sob-restrição hídrica acentuada (65% a menos de irrigação). Podendo esta, ser uma justificativa para a diminuição do teor relativo de água nas plantas sob déficit hídrico de 35% CC tratadas com doses maiores que 1,21 g/L de SiO₂.

Os pigmentos fotossintéticos são essenciais para todos os organismos fotossintetizantes e, trabalhos mostram que os teores de pigmentos sofrem influência das variações ambientais e experimentais (PEI et al., 2010; TERZI et al., 2010; DIN et al., 2011).

Para os dados quantitativos a análise de regressão mostrou aumento no teor de clorofilas a partir do incremento da dose de SiO₂ na solução de fertilização foliar nas plantas cultivadas a 100% CC, quando as plantas foram cultivadas sob déficit hídrico de 35% CC a regressão não obteve resposta. Shen et al. (2010) constataram que a adubação foliar de silício em soja aumentou o conteúdo de clorofilas em plantas irrigadas, entretanto esse tratamento não alterou o conteúdo de clorofilas nas plantas não irrigadas, corroborando com os resultados encontrados nesta pesquisa para clorofilas.

Em relação aos carotenoides, os mesmos são importantes componentes do aparato fotossintético das plantas, sendo amplamente descritos por estarem relacionados com a fotoproteção, também por estender a captação de fótons e estabilizar as membranas tilacoide (YOUNG et al., 1996; EDGE et al., 1997; DEMMIG-ADAMS et al., 2006). A aplicação de SiO₂ promoveu maior teor de carotenoides com o incremento da dose de SiO₂ na solução de fertilização foliar, este dado corrobora com Gong et al. (2005) que obteve maiores doses de carotenoides foliares com aplicação de silício em plantas de trigo (*Triticum aestivum*). O SiO₂ por ter aumentado o teor de carotenoides promoveu maior vigor fisiológico nas plantas de *P. peruviana*, isso relacionado aos papéis triviais dos carotenoides em plantas.

O teste de média para o regime hídrico não apresentou resposta para os pigmentos, resultado semelhante foi observado por Zanetti (2013) em plantas de *Theobroma cacao*, o qual não apresentou interações estatísticas nos teores de pigmentos fotossintéticos em função do regime hídrico ou adubação foliar com SiO₂. O autor explicita que na literatura não há um consenso sobre a influência do Si nos teores de pigmentos fotossintéticos, o que pode estar relacionado com as diferentes condições experimentais entre os trabalhos.

O crescimento em plantas é iniciado primeiramente pela multiplicação de células meristemáticas e, subsequente alongamento destas (SKIRYCZ e INZE et al., 2010). A água desempenha um importante papel neste alongamento celular proporcionada pela pressão de turgor (WOODRUFF et al., 2011). Por isso, o estresse hídrico reduz o crescimento de plantas e prejudica o rendimento das culturas (BOYER, 1982).

Apesar de o estresse hídrico ter reduzido o crescimento das plantas de *P. peruviana*, a regressão conseguiu constatar que o comprimento do caule apresentou-se maior em condição associada à irrigação plena e a adubação com silício. Pesquisas mostram que plantas tratadas com silício tendem a apresentar maior crescimento em altura, área foliar e massa seca total (GONG et al., 2003 e KIM et al., 2012). Corroborando com os dados encontrados nesta pesquisa para as plantas em adequado regime hídricas.

A área foliar diminuiu nas plantas em condição de déficit ao longo dos 30 dias de tratamento hídrico, apesar, a área foliar das plantas em 100% CC apresentou resultado crescente até a dose de 1,96 g/L de SiO₂. A água desempenha um importante papel na expansão celular proporcionada pela pressão de turgor (WOODRUFF et al., 2011). A área foliar gradativamente maior até a dose ideal de fertilização nas plantas em boas condições de irrigação pode ter ocorrido pelo fato de o silício aumentar o teor relativo de água na folha, proporcionando maior pressão de turgor nas células, favorecendo a expansão celular e proporcionando maior área foliar. Apesar disso, acima da dose ideal o silício pode ter enrijecido a parede celular pelo acúmulo e consequente expansão da parede, o que pode ter dificultado a remodelagem das fibras de celulose levando a uma menor área foliar acima da dosagem ideal estabelecida pelo ponto ótimo na regressão. Algo semelhante pode ter ocorrido em relação ao comprimento do caule e diâmetro do caule.

A matéria seca acumulada em uma planta ao longo do seu crescimento é 90% advinda dos processos fotossintéticos, que fixa carbono na síntese de compostos orgânicos. O restante do acúmulo vem dos nutrientes minerais absorvidos do meio externo. Com este fato, interferências ambientais ou impostas pelo pesquisador podem ao final de um período interferir drasticamente na espécie vegetal em estudo e, os resultados destas interações planta e meio, aplicáveis nos mais diversos estudos de produção agrícola frente a fatores exógenos, ou melhoramento vegetal (BENINCASA., 1988).

O SiO₂ não influenciou no ganho de massa seca de folhas, raiz e massa seca total em ambos os regimes hídricos, mas promoveu acúmulo de massa seca no caule no regime hídrico de 100% CC, sendo 2,21 g/L de SiO₂ dentre as doses testadas a que mostrou melhor resultado para este parâmetro. Indicando como ideal para o acúmulo de massa seca em plantas de fisális

um pouco mais do dobro da dose recomendada pelo fabricante Agrisil® (1,0 g/L). Entretanto, deve-se levar em consideração que tal recomendação do fabricante se aplica à cultura do tomateiro, pois tem sido tomado como padrão para a fisális por serem da mesma família, uma vez que para fisális não existem estudos que definam suas necessidades nutricionais.

Observou-se como tendência de resposta para as plantas de fisális mantidas em déficit hídrico de 35% CC não obter efeito promissor com a adubação de silício. Tal fato pode estar relacionado à intensidade do estresse e o longo tempo de exposição a que as plantas foram submetidas. Outra justificativa para o ocorrido é que a fertilização foliar com silício é menos eficaz em comparação a aplicação via solo (PILON et al., 2011) pois o silício aplicado via foliar não é absorvido pelas plantas na mesma proporção que o absorveriam se aplicado via solo (GUÉVEL et al., 2007).

É conhecido o efeito benéfico do silício sobre as plantas, em aperfeiçoar os processos bioquímicos e fisiológicos, refletindo no crescimento das culturas (LIMA et al., 2011). A regressão na análise de variância para a taxa de crescimento absoluto e relativo confirma o efeito benéfico da adubação foliar com SiO_2 em promover melhoria nos processos bioquímicos e fisiológicos, refletindo no ganho em produtividade líquida da cultura.

A taxa assimilatória líquida somente formou regressão nas plantas cultivadas no regime hídrico de 100% CC. Apesar disso, este resultado mostra a ação benéfica da adubação foliar com silício às plantas de fisális, pois promoveu maior fotossíntese líquida, concedendo auxílio fisiológico para maior acumulação de matéria seca. Este resultado corrobora com Dellagnol et al. (2013) que encontrou aumentos significativos na taxa fotossintética, consequentemente maior assimilação de carbono pela adubação com silício em plantas de *Oryza sativa* cultivadas em câmara de crescimento (DALLAGNOL et al., 2013).

A razão de peso de folha expressa a fração de matéria seca não exportada das folhas para o restante da planta. Quanto menor é a razão de peso de folha maior é a exportação de foto-sintetizados da folha para o restante da planta (BENINCASA., 1988). Consequentemente, quanto maior é a razão de peso de folha menor é a exportação de fotosintetizados.

O resultado da razão de peso de folha das plantas no regime hídrico de 100% CC mostra que a adubação com silício promoveu maior exportação de fotossintetizados da folha para o restante da planta, constatando que plantas fertilizadas com silício estão mais bem preparadas para o período de frutificação. Esta afirmação corrobora com Fontes et al. (2005) que encontrou razão de peso foliar crescente até 98 dias no cultivo do pimentão, período relacionado ao início da frutificação da cultura estudada, sendo 56 dias o início da frutificação. Nas plantas

cultivadas com restrição hídrica de 35% CC o déficit hídrico suprimiu a ação benéfica do SiO_2 e inibiu resultado favorável para a razão de peso de folhas. Este resultado se assemelha ao obtido para plantas de *Ricinus communis* cv. Nordestina, submetidas à variação das porcentagens de água no solo (NUNES et al., 2013), assim como em Aguiar Netto et al. (2000) que observou menor produtividade em *Solanum tuberosum* nas menores lâminas de irrigação (AGUIAR NETTO et al., 2000).

A área foliar específica apresentou para ambos os regimes hídricos maiores valores quando as plantas foram fertilizadas via foliar com solução aquosa de SiO_2 . Indicando que plantas adubadas com silício apresentaram maior espessura da folha. O aumento da espessura da folha pode estar relacionado com a esclerofilia (BOEGER e WISNIEWSKI, 2003), promovendo maior aptidão fotossintética (OGUCHI et al., 2003). Este resultado foi uma das ações benéficas da adubação foliar com silício em *P. peruviana*, podendo ser uma das decorrências que levaram ao aumento da taxa assimilatória líquida encontrada.

Os resultados desta pesquisa indicam que apesar do regime hídrico com restrição hídrica tenha prejudicado o crescimento de *P. peruviana* em alguns parâmetros mesmo adubadas com silício, a adubação foliar com SiO_2 em boas condições de irrigação melhorou os processos fisiológicos de crescimento da espécie, corroborando com Lima et al. (2011) que explica que o silício aperfeiçoa os processos bioquímicos e fisiológicos das plantas, refletindo em maior crescimento.

7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo permitiram concluir que:

1. O SiO_2 mostrou potencial para auxiliar a manter o teor relativo de água foliar em *P. peruviana* em ambos os regimes hídricos.
2. A adubação foliar em dose acima de 1,21 g/L de SiO_2 em plantas de *P. peruviana* cultivadas em déficit hídrico severo (35% CC) reduz o teor de água foliar, intensificando os efeitos deletérios da restrição hídrica.

3. O crescimento de *P. peruviana* foi prejudicado pelo tratamento hídrico em déficit de 35% CC. No entanto, a regressão conseguiu evidenciar que a adubação foliar com SiO_2 aplicada às plantas de fisális foi eficaz em auferir maior crescimento.
4. Para todos os parâmetros analisados, tanto ao regime hídrico de 100% CC quanto ao de 35% CC a dose de SiO_2 foliar para adubação da fisális difere da recomendação para a cultura do tomate, que é 1,0 g/L de acordo com o rotulo do Agrisil®.

8. CONSIDERAÇÃO FINAIS

A *P. peruviana* é uma espécie que foi introduzida a pouco no mercado brasileiro, ainda não foi alvo de melhoramento genético por indução de mutação e possui poucas pesquisas a fim de aprimorar suas técnicas de cultivo e necessidades de adubação mineral. Esta pesquisa veio elucidar o comportamento da fisális frente a quatro diferentes doses de adubação foliar com silício e dois discrepantes regimes hídricos.

Com base nos resultados verifica-se que a adubação foliar com silício (SiO_2) proporcionou aumento no teor relativo de água nas folhas em ambos os regimes hídricos. Os resultados também indicam que para a nutrição mineral via foliar da fisális dose acima do recomendado para a cultura do tomate (1,0 g/L) foi mais eficaz, e que uma irrigação deficiente prejudica o crescimento da espécie, podendo levar a perdas de produtividade e produção.

Algumas questões foram solucionadas, contudo é preciso outras que elucidem o nível mínimo de restrição hídrica que pode ser empregada na cultura da fisális a fim de reduzir as necessidades hídricas da espécie sem que prejudique o crescimento. Principalmente pesquisas que esclareçam sobre as específicas necessidades minerais para o cultivo de *P. peruviana* assim como trabalhos de melhoramento.

9. REFERÊNCIAS

- ADATIA, M.H.; BESFORD, R.T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. **Annals of Botany**, London, v. 58, 1986. p. 343-351. [s.n.].
- AGARIE, S.; HANAOKA, N.; UENO, O; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGTA, W.; KAUFMAN, P. B. Effects of silicon on tolerance to water déficit and heat estresse in Rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. **Plant production Science**, v.1, 1998. p. 96-103.
- AGUIAR NETTO, OLIVEIRA ANTENOR DE; RODRIGUES, João Domingos and PINHO, Sheila Zambelo de. Análise de crescimento na cultura da batata submetida a diferentes lâminas de irrigação. **Pesquisa agropecuária brasileira**. [online]. v. 35, n.5, 2000 p. 901-907. ISSN 0100-204X.
- AHMED, Mukhtar; FAYYAZ-UL-HASSAN; ASIF, Muhammad. Amelioration of Drought in Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) by Silicon. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 4, 2014. p. 470-486.
- ALEXANDRATOS, N e BRUINSMA J. World agriculture towards 2030/2050: **The revision**. Rome, FAO: ESA Working paper, 2012.
- AMIN, Muhammad et al. 2014. Silicon induced improvement in morpho-physiological traits of maize (*Zea mays* L.) under water deficit. **Pakistan journal of agricultural sciences**, v. 51, n. 1, 2014. p. 187-196.
- ANDRADE, L. Physalis ou uchuva - Fruta da Colômbia chega ao Brasil. **Revista Rural**, São Paulo, v. 38, 2008. p.11-12.
- ANGULO, R. **Frutales exóticos de clima frío**. Bogotá: Curso Bayer Cropscience S.A. 2003. p. 24-47.
- _____. **Uchuva: el cultivo**. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá: Colciencias, Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales, 2005.78 p.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 2, 2001. p. 158-167.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas** (noções básicas). 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, p. 41, 2003.

_____. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988.

BIRCHALL, J.D. The essentiality of silicon in biology. **Chemical Society Reviews**, v. 24, 1995. p.351-357.

BOEGER, M. R. T.; WISNIEWSKI, C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n. 01, p. 61-72, 2003.

BOHNERT, H. J.; JENSEN, R. G. Strategies for engineering water estresse tolerance in plants. **Trends in Biotechnology**, v. 14, 1996. p. 89-97.

BORGES, S. L; GUERRERO, C. A; FERNANDES, M. D. Adubação foliar com silício no crescimento de plantas de jambu. **Cultivando o saber**. Cascavel, PR, v. 3, n.1, 2010. p.160-170.

BOYER, J. S. Plant productivity and environment. **Science**, 1982.218: 443–448.

BRASIL DECRETO N° 2954. Aprova o regulamento da lei n° 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Normas jurídicas DEC 004954**, 14 jan., 2004, 27 p.

BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Trends in Plant Science**, v.2, n.2, 1997. p. 48-54.

BRIGGS, G.E.; KIDD, F.A.; WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. **Annals of Applied Biology**, v.7, 1920. p. 202-223.

BRÜCHER, H.. **Tropische Nutzpflanzen**. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1997. p. 394-395.

CAIRO, P. A. R. **Curso básico de relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista: UESB, 1995. p. 31.

CARNEIRO, J. G. de A. Variações na metodologia de mudas florestais afetam os parâmetros morfo-fisiológicos que indicam a sua qualidade. Curitiba: **Série Técnica FUPEF**, v.12. 1983. 40 p.

CASTRO, E. M. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, 2009. p.128-132.

CEASA-ES. 2011. **Physalis**: conheça mais uma fruta exótica comercializada na CEASA/ES. Disponível em: < <http://www.CEASA.es.gov.br/?p=1926>> Acesso em 21 de novembro de 2013.

_____. 2015. **Pesquisa de produtos, preços médios convertidos para dólar comercial venda.** < _____ Disponível em: http://200.198.51.69/detec/cst_site_dolar_consolidado_es/cst_site_dolar_consolidado_es.php > Acesso em 04 de janeiro de 2015.

CHAVES, A. C. **Propagação e avaliação fenológica de *Physalis* sp na região de Pelotas, RS.** 65 p. (Tese de doutorado) - Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RGS: 2006.

_____; SCHUCH, M. W; ERIG, A. C. Estabelecimento e multiplicação in vitro de *Physalis peruviana* L. **Ciênc. agrotec**, Lavras, MG, v. 29, n. 6, 2005. p. 1281-1287.

CHEN, Wei et al. Silicon alleviates drought estresse of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. **Biological trace element research**, v. 142, n. 1, 2011. p. 67-76.

CHERUBINI, Francesco et al. Linearity between temperature peak and bioenergy CO₂ emission rates. **Nature Climate Change**, 2014.

CRAINE, JOSEPH M. et al. Global diversity of drought tolerance and grassland climate-change resilience. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 1, 2012. p. 63-67.

CRUSCIOL, C. A. C.; PULZ, A. L.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; LIMA, G. P. P. Effects of silicon and drought estresse on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. **Crop Science**, v. 49, 2009. p. 949-954.

D'ARCY, W.G. The Solanaceae since 1976, with a review of its biogeography. In: **Solanaceae III: Taxonomy, Chemistry, Evolution** (J.G. Hawkes; R.N. Lester; M. Nee e N. Estrada, eds.). Royal Botanic Gardens Kew and Linnean society of London, 1991.

_____; AVERETT, J. Recognition of tribes Capsiceae and Physaleae, subfamily Solanoideae, Solanaceae. **Phytologia**, v. 80, n. 4, 1996. p. 273-275.

DADALTO, G.G. e FULLIN, E.A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo**. 4ª aproximação. Vitória, ES, SEEA/INCAPER. 2001. 266p.

DALLAGNOL, L. J. et al. Photosynthesis and sugar concentration are impaired by the defective active silicon uptake in rice plants infected with *Bipolaris oryzae*. **Plant Pathology**, v. 62, n. 1, 2013. p. 120-129.

DARWIN, ROY et al. World agriculture and climate change: Economic adaptations. United States Department of Agriculture, Economic Research Service, 1995.

DAVENPORT, L. J. Genera Solanacearum: The Genera of Solanaceae Illustrated, Arranged According to a New System by Armando T. DEVENPORT. **Systematic Botany**, v. 29, n. 1, p. 221-222, 2004.

DEMMIG-ADAMS, B.; GILMORE, A. M.; ADAMS, WWd. Carotenoids 3: in vivo function of carotenoids in higher plants. **The FASEB Journal**, v. 10, n. 4, p. 403-412, 1996.

DIN, J. et al. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought estresse. **J Anim Plant Sci**, v. 21, n. 1, 2011. p. 78-82.

EDGE, R.; MCGARVEY, D. J.; TRUSCOTT, T. G. The carotenoids as anti-oxidants a review. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 41, n. 3, p. 189-200, 1997.

EMBRAPA. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq. Documentos 1. 1997. 212 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. 2. ed. Sunderland: Sinauer. 2005. 412 p.

_____. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. v. 50, 1999. p. 641-664.

FAWE, A.; MENZIES, J. G., CHÉRIF, M. e BÉLANGER, R. R. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: Datnoff LE, Snyder GH e Korndörfer GH (Eds.) Silicon in agriculture. The Netherlands, **Elsevier Science**, 2001. p.159-166.

FILHO, J. L. M.; RUFATO L.; KRETZSCHMAR, A. A.; SILVA, L. C.; BRIGHENTI, A. F.; RIBEIRO, R. S.; MADEIRA, F.; CONGIU, G. A.; SOUZA, A. Propagação de *Physalis* em diferentes substratos sobre efeito do ácido giberélico. In: **III Simpósio nacional do morango** - II Encontro sobre pequenas frutas e frutas nativas do Mercosul. Anais. EMBRAPA: Documentos 203, 2007. p. 228-230.

FISCHER, G.; MIRANDA, D.; PIEDRAHÍTA, W.; ROMERO, J. **Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva *Physalis peruviana* L. en Colombia**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 2005. 222 p.

_____; LÜDDERS, P. Efecto de la altitud sobre el crecimiento y desarrollo vegetativo de la

_____. Crecimiento y desarrollo. In: FLOREZ, V. J.; FISCHER, G.; SORA, A. **Producción, uchuva (*Physalis peruviana* L.)**. **Revista Comalfi**, Bogotá, Colombia. v. 29, n.1, 2002. p. 1-10. **poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.)**. Bogotá: Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, 2000. p. 9-26.

_____; ÂNGULO, R. Los frutales de clima frío en Colombia: La uchuva. **Revista Ventana al Campo Andino**, Medellín, Colombia v. 2, n. 1, 1999. p. 3-6.

_____. **Effect of root zone temperature and tropical altitude on the growth, development and fruit quality of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.)**. Thesis (Doctorado) - Universidad de Humbolt, Berlín, 1995. 171f.

_____; ALMANZA, P. J. Nuevas tecnologías en el cultivo de la uchuva *Physalis peruviana* L. **Revista Agrodesarrollo**, Tunja, Colombia, v. 4, n. 1-2, 1993. p. 294.

FONTES, PAULO CEZAR R.; DIAS, EMERSON N.; DA SILVA, DERLY JOSÉ HENRIQUES. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca e produção de pimentão em ambiente protegido. **Horticultura brasileira**, v. 23, n. 1, 2005.

FRANKS, STEVEN J.; WEBER, JENNIFER J.; AITKEN, SALLY N. Evolutionary and plastic responses to climate change in terrestrial plant populations. **Evolutionary Applications**, v. 7, n. 1, 2014. p. 123-139.

GAO, X., ZOU, C., WANG, L., and ZHANG, F. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants, **Journal Plant Nutrition**, vol. 29, 2006. p. 1637-1647.

GARTNER, MAURICIO MEJÍA. **Plan de negocio para la creación de una empresa productora de uchuva tipo exportación**. 30 p. Monografía (Graduação em Administração de

Empresas Agropecuarias). Corporación Universitaria Lasallista - Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias. Caldas, Antioquia, Colombia, 2012.

GONG, HAI-JUN. et al. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, v. 169, n. 2, p. 313-321, 2005.

_____. et al. Effects of silicon on defense of wheat against oxidative estresse under drought at different developmental stages. **Biologia Plantarum**, v. 52, n. 3, 2008. p. 592-596.

_____. et al. Effects of silicon on growth of wheat under drought. **Journal of Plant Nutrition**, v. 26, n. 5, 2003. p. 1055-1063.

GORDILLO, O. P. **Producción de plántulas de uchuva** (*Physalis peruviana* L.). Bogotá:Universidad Nacional de Colombia, 2003. 4p.

GOUSSAIN, M. M.; MORAES J. C.; CARVALHO J. G.; NOGUEIRA N. L. e ROSSI M. L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, 2002. 31:305-310.

GRATÃO, P. L. et al. Making the life of heavy metal estresseed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, v.32, 2005. p.481-494. Disponível em: <<http://www.publish.csiro.au/?paper=FP05016>> Acesso em 28 de Abril de 2014.

GUÉVEL, M.-H.; MENZIES, JAMES G.; BÉLANGER, R. RICHARD. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. **European Journal of Plant Pathology**, v. 119, n. 4, 2007. p. 429-436.

HATTORI, TAIICHIRO et al. Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. **Physiologia Plantarum**, v. 123, n. 4, 2005. p. 459-466.

_____, INANAGA S, TANIMOTO E, LUX A, LUXOVA M, SUGIMOTO Y. 2003. Silicon-induced changes in viscoelastic properties of sorghum root cell walls. **Plant Cell Physiol**, 2003.

HERMANN, K. Über die inhaltsstoffe und die Verwendung wichtiger exotischer Obstarten. VI. Solanaceen-Früchte. **Die industrielle Obst und Gemüseverwertung** (Alémania) 6, 1994. p. 202-206.

HISCOX, J. D.; ISRAELSTAM, G. F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*, v. 57, p.1332-1334, 1979.

HOWE, PETER D. et al. Global perceptions of local temperature change. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 4, 2013. p. 352-356.

ILER, R. K. **The chemistry of silica**: solubility, polymerization, colloid and surface chemistry and biochemistry. New York: John Wiley e Sons, 1979. 896 p.

IPCC, 2014: Climate Change 2014. **Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.

JONES, H. G.; CORLETT, J. E. 1992. Current topics in drought physiology. **Journal of Agricultural Science**, v. 119, 1992. p. 291–296.

KARABA, AARATI et al. Improvement of water use efficiency in rice by expression of HARDY, an Arabidopsis drought and salt tolerance gene. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 104, n. 39, 2007. p. 15270-15275.

KIM, YOON-HA et al. Silicon treatment to rice (*Oryza sativa* L. cv. 'Gopumbyeo') plants during different growth periods and its effects on growth and grain yield. **Pak. J. Bot**, v. 44, n. 3, 2012. p. 891-897.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984. 408p.

KNAPP, S. Neotropical Solanaceae. In: Milliken, W, Klitgård, B. e Baracat, A. (2009 onwards), **Neotropikey**:- Interactive key and information resources for flowering plants of the Neotropics.

KUHN, P. R.; KULCZYNSKI, S. M.; BELLÉ, C.; KOCH, F., WERNER, C. J. Initial development of seedlings physalis (*Physalis peruviana*) through the seeds of fruits mature and green under different substrates. **Encyclopedia Biosph**. 2012. 8(15):1378-1385.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: RIMA, 2006. p. 531.

LECOEUR, J. e SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, v.36, 1996. p.331-335.

LEGGE, A. Notes on the history, cultivation and uses of *Physalis peruviana* L. **Journal of the Royal Horticultural Society**, 99(7), 1974. 310–314.

LEHNER, B., DÖLL, P., ALCAMO, J., HENRICHS, T., e KASPAR, F. Estimating the impact of global change on flood and drought risks. In: Europe: a continental, integrated analysis. **Climatic Change**, 75(3), 2006. p. 273-299.

LEVITT, J. Response of plants to enviropmental estresse. II: Water radiation, salt and other estresse. New York: **Academic Press**, 1980. 606p.

LICHTENTHALER, H. K.; WELBURN, A. R. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, v.11, p. 591- 592, 1983.

LIMA FILHO, O.F.; LIMA, GROTHGE M.T.; TSAI, S.M. O silício na agricultura. **Informações Agronômicas**, v. 87, p. 1-7, 1999.

LIMA, C. S. M; GONÇALVES, M. A.; TOMAZ, Z. F. P.; RUFATO, A. R.; FACHINELLO, J. C. 2010. Sistemas de tutoramento e épocas de transplante de *physalis*. **Ciência Rural**, Santa Maria, RGS, v.40, 2010. p. 2472-2479.

LIMA, C. S.M.; GALARÇA, S. P.; BETEMPS, D. L; RUFATO, A. R.; RUFATO, L. Avaliação física, química e fitoquímica de frutos de *physalis*, ao longo do período de colheita. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 34, n. 4, 2012. p. 1004-1012.

LIMA, M. A.; CASTRO, V. F.; VIDAL, J. B., FILHO, J. E. 2011. Aplicação de silício em milho e feijão-de corda sob estresse salino. , Fortaleza - CE: **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n. 2, 2011. p.398-403.

_____; SEVERO, J.; MANICA-BERTO, R.; SILVA, J. A.; RUFATO, L.; RUFATO, A. R. Características físico-químicas de *physalis* em diferentes colorações do cálice e sistemas de condução. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, 2009. p. 1062-1065.

LIU, PENG et al. Aquaporin-mediated increase in root hydraulic conductance is involved in silicon-induced improved root water uptake under osmotic estresse in *Sorghum bicolor* L. **Journal of experimental botany**, 2014. p. eru220.

LOBELL, DAVID B. et al. Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. **Nature Climate Change**, v. 1, n. 1, 2011. p. 42-45.

LUKOVIĆ, J, MAKSIMOVIĆ, I, ZORIC, L, NAGL, N, PERČIĆ, M, POLIC, D, PUTNIK-DELIĆ, M. Histological characteristics of sugar beet leaves potentially linked to drought tolerance. **Industrial Crops and Products**, v. 30, n. 2, 2009. p. 281-286.

MA, J. F. e TAKAHASHI, E. Soil fertilizer and plant silicon research in Japan, In: **Kyoto University Technical conferences**, n. 5, 2002. p. 112.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**. v.11, 2006. p. 392–397.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. (Coord.). **Fisiologia vegetal 1**. São Paulo: EPU. Universidade de São Paulo, v.1, cap. 8, 1979. p. 331-350.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 2006. 238p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, **Academic Press**, 1995. 920p.

MARTIN, THOMAS E.; MARON, JOHN L. Climate impacts on bird and plant communities from altered animal-plant interactions. **Nature Climate Change**, v. 2, n. 3, 2012. p. 195-200.

MARTÍNEZ, M. INFRAGENERIC TAXONOMY OF PHYSALIS. In: NEE, M.; SYMON, D.E.; LESTER, R. N. ; JESSOP, J. P. (Eds.). Solanaceae IV: Advances in biology and utilization. Kew: **The Royal Botanic Gardens**, 1999. p. 275-283.

MARTÍNEZ, P. C. **Cultivo de la uchuva en diferentes condiciones de fertilidad**. 45f. Monografía (Graduação). Escuela de Agronomía, Universidad Santo Tomás, Santiago, Chile, 2005.

MAZORRA, M. F.; QUINTANA, A. P.; MIRANDA, D.; FISCHER, G.; VALENCIA, M. C. Aspectos anatómicos de la formación y crecimiento del fruto de uchuva *Physalis peruviana* (Solanaceae). **Acta Biológica Colombiana**, Vol. 11 n.1, 2006. 69 - 8.

MENDELSON, ROBERT; MENDELSON, ROBERT O.; NEUMANN, JAMES E. (Ed.). **The impact of climate change on the United States economy**. Cambridge University Press, 2004.

MENEGALE, M. L. C. **Resposta de plantas de cobertura a doses de silício e estresse hídrico**. 88 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu, São Paulo, 2012.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL DE COLOMBIA. **Sistema de inteligência de mercados**: información de monitoreo internacional, 2006.

MIRANDA, D. **Informes de visitas de asesoría técnica a fincas productoras de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la Sábana de Bogotá y Antioquia**. Bogotá: Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, 2004. 35 p.

MOREIRA, R. A; FAGAN, B. E; MARTINS, V. K; SOUZA, E. H. C. **Resposta da cultura de soja a aplicação de silício foliar**. Biosci. J, Uberlândia, MG, v. 26, n. 3, 2010. p. 413-423.

MUNIZ, JANAÍNA et al. General aspects of physalis cultivation. **Cienc. Rural**, Santa Maria, 2014.

_____, JANAÍNA. **Sistemas de condução e espaçamentos para o cultivo de physalis (*Physalis peruviana* L.) no planalto catarinense**. 137 p. Dissertação (Mestrado em produção vegetal). Centro de Ciências Agroveterinárias - Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, Santa Catarina, 2011.

_____, J.; KRETZSCHMAR, A.A.; RUFATO, L. Cultivo de *Physalis peruviana* L.: uma nova alternativa para pequenos produtores. **Jornal da Fruta**, Lages, SC, Ano XVIII, n. 228, jun. 2010. p. 22.

NOGUEIRA, R. J. M. C., MORAES, J. A. P. V., BURITY, H. A. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleira submetidas a *défice* de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 13, n.1, 2001, p. 75-87.

NOGUEIRA, O. L.; CONCEIÇÃO, H. E. O. Análise de crescimento de açaizeiros em áreas de várzea do estuário amazônico. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v. 35, n.11, nov. 2000. p. 2167-2173.

NOVOA, R.M. et al. La madurez del fruto y el secado del cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) almacenada. **Agronomía Colombiana**, Bogotá, v. 24, n. 1, p. 77-86, 2006.

NUNES, ERNANE NOGUEIRA et al. Crescimento de cultivares de mamona (*Ricinus communis* L.) sob variação da disponibilidade de água no solo. **Scientia Plena**, v. 9, n. 10, 2013.

OBRECHT, A. S. **Estudio fenológico de uvilla** (*Physalis peruviana* L.). 71 p. (Tese de doctorado) - Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago, 1993.

OGUCHI, R.; HIKOSAKA, K.; HIROSE, T. Does the photosynthetic light-acclimation need change in leaf anatomy? **Plant, Cell and Environment**, v. 26, n. 04, p. 505-512, 2003.

OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, A. C. Acumulação de silício em arroz de diferentes condições de pH da rizosfera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, 2007. p. 685-690.

OLMSTEAD, G. RICHARD. Phylogeny and biogeography in Solanaceae, Verbenaceae and Bignoniaceae: a comparison of continental and intercontinental diversification patterns. The Linnean Society of London, **Botanical Journal of the Linnean Society**, 2013, 171, 80–102.

OLMSTEAD, R. G.; BOHS, L.; MIGID, H.A.; SANTIAGO-VALENTIN, E.; GARCIA, V.F. e COLLIER, S.M. **A molecular phylogeny of the Solanaceae**. *Taxon* 57(4): 2008. 1159-1181.

PEDROSO, Fernanda K. J. V. et al. Drought tolerance in citrus trees is enhanced by rootstock-dependent changes in root growth and carbohydrate availability. **Environmental and Experimental Botany**, v. 101, 2014. p. 26-35.

PEI, Z. F. et al. Silicon improves the tolerance to water-deficit estresse induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. **Journal of plant growth regulation**, v. 29, n. 1, 2010. p. 106-115.

PEIXOTO, C. P.; CERQUEIRA, E. C; SOARES, W. S. F.; NETO, M. T. C.; LEDO, C. A. S.; MATOS, F. S.; OLIVEIRA, J. G. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob *défice* hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 28, n. 3, dez. 2006. p. 439-443.

_____, C. P. **Análise de crescimento e rendimento de três cultivares de soja em três épocas de semeadura e três densidades de plantas.** 151f. Tese - (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

PELLERANO, J. Gastronomia molecular: Desconstruindo vinte anos de uma tendência. **Revista Rosa dos Ventos.** 5(2) 293-300, abril-jun., 2013.

PEREIRA, A.R. ; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de vegetais.** Campinas, SP: Instituto Agronômico. 1987. 33p.

PERON, T. A.; VILLA, F.; MEZZALIRA, E. J.; SILVA, D. F. da. Temperatura ótima para germinação de sementes de fisális. In: XII ENFRUTE, 2011, Fraiburgo - SC. **XII ENFRUTE -Anais...** 2011. v. II. p. 34.

PETRI, J. L. Fatores edafoclimáticos. In: EPAGRI. **A Cultura da Macieira.** Florianópolis, SC: EPAGRI. 2006. p. 105-112.

PILON, CRISTIANE. **Aplicação de silício solúvel via solo e foliar na cultura da batata (Solanum tuberosum L.) sob deficiência hídrica.** Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura). Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Botucatu, São Paulo, 2011.

PING-YAN, ZHANG et al. Effects of silicon on photosynthetic characteristics and activity of antioxidant enzymes in continuous-cropped cucumber seedlings. **Yingyong Shengtai Xuebao**, v. 25, n. 6, 2014.

PINTO-MUÑOZ L. P. C. A., CASTRO ES e CORTÉS M. Physalis peruviana Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. **Food Research International**, 2011. 44:1733-1740.

PIVA, A. L; MEZZALIRA, E. J; SANTIN, A. SSCHWANTES, D; KLEIN, J; RAMPIM, L; VILLA, F; TSUTSUMI, C. Y; NAVA, G. A. Emergence and initial development of Cape gooseberry (Physalis peruviana) seedlings with different substrate compositions. **African Jornal of Agricultural Research.** v. 8(49), 2013. p. 6579-6584.

POLTRONIERI, E. Alternativas para o mercado interno de pequenas frutas. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS FRUTAS, 1., Vacaria. **Anais...Vacaria:** EMBRAPA, Uva e Vinho, 2003, p. 37-40. (Documentos, 37).

PORPORATO, Amilcare; DALY, Edoardo; RODRIGUEZ-ITURBE, Ignacio. Soil water balance and ecosystem response to climate change. **The American Naturalist**, v. 164, n. 5, 2004. p. 625-632.

PREZOTTI L. C.; GOMES J. A.; DADALTO GG e OLIVEIRA J. A. **Manual de Recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5º aproximação. Vitória, SEEA/Incaper/Cedagro, 2007. 305p.

RAMADAN, MOHAMED FAWZY. Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry *Physalis peruviana*: An overview. **Food Research International**, v. 44, n. 7, 2011. p. 1830-1836.

REIS, G. G.; MULLER, M. W. **Análise de crescimento de plantas e mensuração do crescimento**. Belém: CPATU, 1979. 35 p.

ROMERO-ARANDA; M. R., JURADO, O. and CUARTERO, J. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status, **J. Plant Physiol.**, v. 163, 2006. p. 847–855.

ROZA, F. M. **Alterações morfofisiológicas e eficiência de uso da água em plantas de *Jatropha curcas* L. submetidas à deficiência hídrica**. 67 p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, 2010.

RUFATO, L. et al. **Aspectos técnicos da cultura da physalis**. Lages, SC: CAV/UDESC; Pelotas, RGS: Universidade Federal de Pelotas, 2008. 100 p.

RUNGE, F. The opal phytolith inventory of soils in Central Africa – Quantities, shapes, classification, and spectra. **Rev. Paleobot. Palynol**, 107:23-53, 1999.

SAVANT, N. K.; KORNDÖRFER G. H.; DATNOFF L. E.; SNYDER G. H. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, v. 22, 1999. p. 1853-1903.

SCHNEIDER, E. P.; PAGOT, E; NACHTIGAL, J. C. e BERNARDI J. Ações para o desenvolvimento da produção orgânica de pequenas frutas na região dos Campos de Cima da Serra, RS, Brasil: **Revista Brasileira de Agroecologia**, 2007. 2:245-248.

SHAO, HONG-BO et al. Water-deficit estresse induced anatomical changes in higher plants. **Comptes rendus biologies**, v. 331, n. 3, 2008. p. 215-225.

SHEN X.; ZHOU Y.; DUAN L.; LI Z.; ENEJI A. E.; LI J. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, n. 15, 2010. p. 1248-1252.

SHI, YU et al. Silicon improves seed germination and alleviates oxidative estresse of bud seedlings in tomato under water deficit estresse. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 78, 2014. p. 27-36.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene expression and signal transduction in water estresse response. **Plant Physiology**, v. 115, 1997. p. 327-334.

SILVA, Sérgio Teixeira da; LABOURIAU, Luiz Gouvêa. Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados. III. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 5, n. 1, p. 167-182, 1970.

SILVA, F. DE A. S. E. & AZEVEDO, C. A. V. DE. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.4,n.1, p71-78, 2002.

SKIRYCH, ALEKSANDRA; INZÉ, DIRK. More from less: plant growth under limited water. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 21, n. 2, 2010. p. 197-203.

SOARES, E. L. de Carvalho; VENDRUSCOLO, G. S; VIGNOLI-SILVA, M; THODE, V. A; da Silva, J. G; MENTZ, L. A. O gênero *Physalis* l. (Solanaceae) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas Botânica**, n. 60:323-340 São Leopoldo: Instituto Anchietano de Pesquisas, 2009.

SOUZA, R. J.; FERREIRA, A. A. Produção de mudas de hortaliças em bandejas: economia de sementes e defensivos. **Revista A Lavoura**, São Paulo, n. 623, 1997. p. 19-21.

STEHMANN, J.R.; MENTZ, L.A.; AGRA, M.F; VIGNOLI-SILVA, M.; GIACOMIN, L.; RODRIGUES, I.M.C. 2013. **Solanaceae**. In: Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

_____. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Piracicaba: Artmed, 2004.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H., (Ed.). Science of the rice plant:

physiology. Tokyo, Japan: **Food and Agriculture Policy Research Center**. cap. 5, 1995. p. 420-433.

TAPIA, M. E. Y A. M. Fries. **Guía de campo de los cultivos andinos**. Lima, Perú, 2007. FAO. Roma. ANPE. Lima, 2007.

TERZI, Rabiye et al. Impact of soil drought estresse on photochemical efficiency of photosystem II and antioxidant enzyme activities of *Phaseolus vulgaris* cultivars. **Turk J Bot**, 2010. v. 34, p. 1-10.

TRIPATHI, Durgesh Kumar et al. Role of Silicon in Enrichment of Plant Nutrients and Protection from Biotic and Abiotic estresse. In: **Improvement of Crops in the Era of Climatic Changes**. Springer New York, 2014. p. 39-56.

VIDAL W. N. e VIDAL, M. R. R. **Botânica, Organografia**: quadros sinóticos ilustrados de fanerógamos. 4. ed. rev. ampl. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2003.

WELCH, Megan J. et al. Effects of elevated CO₂ on fish behaviour undiminished by transgenerational acclimation. **Nature Climate Change**, 2014.

WENTZ, F. J.; RICCIARDULLI, L.; HILBURN, K.; MEARS, C.; How much more rain will global warming bring? **Science**, 2007. 317:233–235.

WHITSON, M; MANOS, P. S. Untangling Physalis (Solanaceae) from the physaloids: a two-gene phylogeny of the Physalinae. **Systematic Botany**, 2005. 30: 216-230.

WOODRUFF, DAVID R.; MEINZER, FREDERICK C. Size-dependent changes in biophysical control of tree growth: the role of turgor. In: **Size-and age-related changes in tree structure and function**. Springer Netherlands, 2011. p. 363-384.

YOUNG, A. J.; FRANK, H. A. Energy transfer reactions involving carotenoids: quenching of chlorophyll fluorescence. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 36, n. 1, p. 3-15, 1996.

ZANETTI, V. L. **Efeitos da pulverização foliar com silício na tolerância de Theobroma cacao L. (MALVACEAE) ao déficit hídrico**. 60 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal). Centro de Ciências Humanas e Naturais – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Espírito Santo, 2013.

ZHU, Yongxing e GONG, Haijun. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 34, n. 2, 2014. p. 455-472.

ZOBAYED, S. M. A.; AFREEN, F.; KOZAI, T. Phytochemical and physiological changes in the leaves of St John's wort plants under a water estresse condition. *Environmental and Experimental Botany*, v. 59, 2007. p. 109-116.

APÊNDICE A - Tabela dos pontos máximos

Pontos máximos das regressões quadráticas para as diferentes análises nas plantas de *Physalis peruviana*.

	100% CC	35% CC
	g/L de SiO ₂	
Teor relativo de água na folha	-	1,21 *
Clorofila <i>a</i>	1,93 **	-
Clorofila <i>b</i>	1,49 *	-
Clorofila <i>total</i>	1,81 *	-
Carotenoides	1,62 **	-
Área foliar	1,95 *	1,14 *
Comprimento do caule	-	-
Diâmetro do caule	1,89 **	1,81 **
Massa seca da folha	-	-
Massa seca do caule	2,17 *	-
Massa seca da raiz	-	-
Massa seca total	-	-
Taxa de crescimento absoluto	-	1,06 *
Taxa de crescimento relativo	2,29 *	1,09 **
Taxa assimilatória líquida	-	-
Razão de área foliar	1,93 **	1,56 **
Área foliar específica	2,17 **	1,49 **
Razão de peso de folha	1,84 *	-

Parâmetro sem valor corresponde à resposta linear na regressão. *=1%; **=5% pelo Scott-Knott. n=5.